



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
DIAGNÓSTICO DE SENSORES INTELIGENTES CON EL  
ESTÁNDAR IO-LINK EN AMBIENTES AGRESIVOS”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Tipo: PROYECTO TÉCNICO**

Para optar al Grado Académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**AUTORES: HUILCA GALAN ERICK SANTIAGO**

**SILVA ESPINOZA FERNAN ALEXIS**

**TUTOR: ING. MARCO ANTONIO VITERI BARRERA**

Riobamba – Ecuador

2018

©2018, Erick Santiago Huilca Galán, Fernán Alexis Silva Espinoza.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El Proyecto Técnico: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE SENSORES INTELIGENTES CON EL ESTÁNDAR IO-LINK EN AMBIENTES AGRESIVOS”, de responsabilidad de los señores Huilca Galán Erick Santiago Y Silva Espinoza Fernán Alexis, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Julio Santillán C. <b>VICEDECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA.</b>	.....	.....
Ing. Freddy Chávez V. <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES.</b>	.....	.....
Ing. Marco Viteri B. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	.....	.....
Ing. Jesús Rodríguez F. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL.</b>	.....	.....

“Nosotros, **ERICK SANTIAGO HUILCA GALÁN Y FERNÁN ALEXIS SILVA ESPINOZA**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.

Erick Santiago Huilca Galán

Fernán Alexis Silva Espinoza

## **DEDICATORIA**

De manera muy especial quiero dedicar este trabajo a mis padres Milton Huilca y Mercedes Galán por ser el apoyo fundamental en mi vida y brindarme todo su apoyo, a mis hermanos, hermana y abuelitas por creer en mí.

Erick Huilca

Con mucho cariño a mis padres por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, a mis hermanos y a todas aquellas personas que aportaron con su granito de arena en mi desarrollo como persona. Y a Dios por brindarme la fuerza necesaria para afrontar cualquier obstáculo que se presente a lo largo de carrera como ser humano.

Fernán Silva

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestros padres por saber guiarnos en esta vida llena de tentaciones y peligros, sin sus consejos y sabiduría no seríamos las personas que somos ahora y mucho menos obtener este logro como es el terminar nuestros estudios. Así también a nuestro director de trabajo de titulación, Ingeniero Marco Viteri, quien con su conocimiento supo orientarnos para de esta manera culminar esta etapa académica. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, así como a cada uno de nuestros profesores por haber transmitido sus conocimientos y experiencias laborales.

Erick y Fernán

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Cámara de simulación ambientales .....</b>	<b>5</b>
<i>1.1.1 Tipos de Cámaras .....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.1.1 Cámaras Climáticas de Estabilidad.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.1.2 Cámara Climática de Ensayo .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.3 Cámaras Climáticas Compactas.....</i>	<i>7</i>
<i>1.1.1.4 Cámaras Climáticas Modulares .....</i>	<i>7</i>
<b>1.2 Redes Industriales .....</b>	<b>7</b>
<i>1.2.1 Jerarquía de Automatización Industrial .....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.1.1 Nivel de Gestión .....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.1.2 Nivel de Control .....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.1.3 Nivel de Campo y Proceso .....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.1.4 Nivel de Entradas y Salidas .....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2 Arquitecturas de Red.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2.1 Modelo OSI.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.2.2 Modelo TCP/IP .....</i>	<i>10</i>
<b>1.3 Interfaz de Operador .....</b>	<b>11</b>

<b>1.3.1</b>	<b><i>Aspectos en la Interacción Hombre-Máquina</i></b> .....	<b>11</b>
<b>1.3.2</b>	<b><i>Modos de presentación de la información</i></b> .....	<b>12</b>
<b>1.4</b>	<b><i>IO-Link</i></b> .....	<b>13</b>
<b>1.4.1</b>	<b><i>Componentes Básicos</i></b> .....	<b>13</b>
<b>1.4.2</b>	<b><i>Interfaz IO-Link</i></b> .....	<b>14</b>
<b>1.4.2.1</b>	<b><i>Puerto Clase A</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.4.2.2</b>	<b><i>Puerto Clase B</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.4.3</b>	<b><i>Protocolo IO-Link</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.4.3.1</b>	<b><i>Modos de Funcionamiento</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.4.3.2</b>	<b><i>Calidad de la Transmisión</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.4.3.3</b>	<b><i>Tipos de Datos</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.4.4</b>	<b><i>Perfiles de Dispositivos</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.4.4.1</b>	<b><i>Perfiles para IO-Link</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.5</b>	<b><i>Sensores</i></b> .....	<b>17</b>
<b>1.5.1</b>	<b><i>Características de los Sensores</i></b> .....	<b>19</b>
<b>1.5.2</b>	<b><i>Sensores de Temperatura</i></b> .....	<b>19</b>
<b>1.5.2.1</b>	<b><i>Detector de Temperatura Resistivo</i></b> .....	<b>19</b>
<b>1.5.2.2</b>	<b><i>Termistor</i></b> .....	<b>20</b>
<b>1.5.2.3</b>	<b><i>Sensor de Circuito Integrado IC</i></b> .....	<b>20</b>
<b>1.5.2.4</b>	<b><i>Termocuplas</i></b> .....	<b>20</b>
<b>1.5.3</b>	<b><i>Sensores Inductivos</i></b> .....	<b>21</b>
<b>1.5.4</b>	<b><i>Sensores Fotoeléctricos</i></b> .....	<b>23</b>
<b>1.5.4.1</b>	<b><i>Sensor Fotoeléctrico Réflex</i></b> .....	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Requerimiento del Diseño de Diagnóstico de Sensores</b> .....	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Descripción del proceso</b> .....	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b>Selección de elementos</b> .....	<b>25</b>

<b>2.4.1</b>	<b><i>PLC</i></b> .....	<b>25</b>
<b>2.4.2</b>	<b><i>Módulo de entradas analógicas</i></b> .....	<b>26</b>
<b>2.4.3</b>	<b><i>Maestro IO-Link</i></b> .....	<b>27</b>
<b>2.4.4</b>	<b><i>Sensores</i></b> .....	<b>28</b>
2.4.4.1	<i>Sensor IO-Link RTD</i> .....	29
2.4.4.2	<i>Sensor IO-Link Inductivo</i> .....	29
2.4.4.3	<i>Sensor IO-Link Réflex</i> .....	30
2.4.4.4	<i>Sensor RTD</i> .....	31
2.4.4.5	<i>Acondicionador RTD</i> .....	31
2.4.4.6	<i>Sensor Inductivo</i> .....	32
2.4.4.7	<i>Sensor Réflex</i> .....	33
2.4.4.8	<i>Sensor de humedad y temperatura</i> .....	34
<b>2.4.5</b>	<b><i>Diseño mecánico para un sistema de diagnóstico de sensores</i></b> .....	<b>35</b>
2.4.5.1	<i>Diseño para la estación de temperatura</i> .....	35
2.4.5.2	<i>Diseño para la estación de humedad</i> .....	36
2.4.5.3	<i>Diseño para la estación de polvo</i> .....	37
2.4.5.4	<i>Diseño mecánico de una placa móvil</i> .....	37
<b>2.4.6</b>	<b><i>Montaje de componentes</i></b> .....	<b>38</b>
<b>2.4.7</b>	<b><i>Esquema de conexión</i></b> .....	<b>38</b>
<b>2.4.8</b>	<b><i>Programación del PLC</i></b> .....	<b>40</b>
2.4.8.1	<i>Configuración del servidor Modbus</i> .....	46
<b>2.4.9</b>	<b><i>Programación de la interfaz</i></b> .....	<b>48</b>
 <b>CAPÍTULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Validación de la configuración del sistema</b> .....	<b>53</b>
<b>3.3</b>	<b>Ensayos del sistema de diagnóstico de sensores</b> .....	<b>54</b>
3.3.1	<i>Ensayos IO-Link RTD</i> .....	57
3.3.2	<i>Ensayos RTD</i> .....	61

3.3.3	<i>Ensayo IO-Link Inductivo</i> .....	65
3.3.4	<i>Ensayo Sensor Inductivo</i> .....	70
3.3.5	<i>Ensayo Sensor IO-Link Réflex</i> .....	70
3.3.6	<i>Ensayo sensor Réflex</i> .....	72
3.4	<b>Diagnóstico Final</b> .....	74
3.5	<b>Análisis de Costos</b> .....	75
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	76
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	77
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Características de las capas en OSI .....	10
<b>Tabla 2-1:</b> Distribución de los pines en las diferentes clases de puertos .....	15
<b>Tabla 3-1:</b> Clasificación de los Sensores .....	18
<b>Tabla 4-1:</b> Termocuplas industriales más usadas.....	21
<b>Tabla 5-1:</b> Ventaja y desventaja en los sensores inductivos .....	21
<b>Tabla 1-2:</b> Relación de datos entre los sensores de temperatura.....	44
<b>Tabla 2-2:</b> Descripción de la configuración de la instrucción Modbus.....	46
<b>Tabla 3-2:</b> Parametrización para el bloque MB_Server .....	50
<b>Tabla 4-2:</b> Asignación de memoria MODBUS en PLC.....	50
<b>Tabla 1-3:</b> Datos de temperatura a 30 °C. ....	57
<b>Tabla 2-3:</b> Datos del sensor IO-Link RTD.....	57
<b>Tabla 3-3:</b> Prueba de normalidad para el sensor IO-Link RTD.....	58
<b>Tabla 4-3:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas IO-Link RTD.....	58
<b>Tabla 5-3:</b> Prueba efectos inter-sujetos IO-Link RTD .....	59
<b>Tabla 6-3:</b> Datos obtenidos en prueba de humedad IO-Link RTD .....	60
<b>Tabla 7-3:</b> Datos del sensor RTD.....	61
<b>Tabla 8-3:</b> Prueba de normalidad para el sensor RTD .....	62
<b>Tabla 9-3:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas RTD .....	62
<b>Tabla 10-3:</b> Prueba efectos inter-sujetos RTD.....	63
<b>Tabla 11-3:</b> Datos obtenidos en prueba de humedad RTD .....	63
<b>Tabla 12-3:</b> Datos del sensor IO-Link Inductivo .....	65
<b>Tabla 13-3:</b> Prueba de normalidad para el sensor IO-Link Inductivo.....	65
<b>Tabla 14-3:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas IO-Link Inductivo.....	66
<b>Tabla 15-3:</b> Prueba Post-Hoc en condiciones de polvo para IO-Link Inductivo .....	66
<b>Tabla 16-3:</b> Prueba Post-Hoc en condiciones de temperatura para IO-Link Inductivo .....	67
<b>Tabla 17-3:</b> Datos obtenidos en pruebas de humedad con IO-Link Inductivo.....	68
<b>Tabla 18-3:</b> Datos del sensor Inductivo .....	70
<b>Tabla 19-3:</b> Datos del sensor IO-Link Réflex .....	71
<b>Tabla 20-3:</b> Datos obtenidos en pruebas de humedad con IO-Link Réflex .....	71
<b>Tabla 21-3:</b> Datos del sensor Réflex.....	72
<b>Tabla 22-3:</b> Listado de precios.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Cámara climática de estabilidad .....	6
<b>Figura 2-1:</b> Prueba de temperatura en cámara de ensayo .....	7
<b>Figura 3-1:</b> Jerarquía en una red Industrial .....	8
<b>Figura 4-1:</b> Comparación entre el modelo TCP/IP y el modelo OSI .....	10
<b>Figura 5-1:</b> Implementación de una interfaz con LabVIEW .....	12
<b>Figura 6-1:</b> Sistema de arquitectura IO-Link .....	14
<b>Figura 7-1:</b> Asignación de pines en un dispositivo IO-Link .....	14
<b>Figura 8-1:</b> Esquema del Funcionamiento de un Sensor .....	17
<b>Figura 9-1:</b> Constitución de un sensor inductivo .....	22
<b>Figura 10-1:</b> Área de funcionamiento del sensor .....	22
<b>Figura 11-1:</b> Bloque de funcionamiento del sensor fotoeléctrico .....	23
<b>Figura 12-1:</b> Funcionamiento del sensor .....	23
<b>Figura 1-2:</b> Etapas de proceso .....	24
<b>Figura 2-2:</b> PLC S7-1200 1214AC/DC/RLY .....	26
<b>Figura 3-2:</b> Módulo 231-4HD30-0XB0 .....	27
<b>Figura 4-2:</b> Maestro IO-Link AL1110 .....	28
<b>Figura 5-2:</b> IO-Link RTD TA2447 .....	29
<b>Figura 6-2:</b> Sensor IO-Link Inductivo .....	30
<b>Figura 7-2:</b> Sensor IO-Link Réflex .....	30
<b>Figura 8-2:</b> Sensor RTD .....	31
<b>Figura 9-2:</b> Acondicionador DAT2065 .....	32
<b>Figura 10-2:</b> Sensor Inductivo .....	32
<b>Figura 11-2:</b> Sensor O6P203 .....	33
<b>Figura 12-2:</b> Sensor humedad y temperatura .....	34
<b>Figura 14-2:</b> Estructura externa de la cámara .....	35
<b>Figura 15-2:</b> Resistencia térmica para aumentar la temperatura .....	36
<b>Figura 16-2:</b> Extractor de aire .....	36
<b>Figura 17-2:</b> Estación de humedad .....	37
<b>Figura 18-2:</b> Estación de polvo .....	37
<b>Figura 19-2:</b> Diseño mecánico de una placa móvil .....	38
<b>Figura 20-2:</b> Montaje de los elementos en la cámara .....	38
<b>Figura 21-2:</b> Esquema eléctrico .....	39

<b>Figura 22-2:</b> Creación de un nuevo proyecto en TIA PORTAL v14.	40
<b>Figura 23-2:</b> Selección del equipo a programar	40
<b>Figura 24-2:</b> Acople del módulo de ampliación con el PLC	41
<b>Figura 25-2:</b> Parametrización de Canales	41
<b>Figura 26-2:</b> Instalación del Maestro IO-Link en TIA PORTAL v14	42
<b>Figura 27-2:</b> Comunicación PROFINET entre PLC y Maestro IO-Link	42
<b>Figura 28-2:</b> Configuración del maestro IO-Link	43
<b>Figura 29-2:</b> Asignación de puertos en el maestro IO-Link	43
<b>Figura 30-2:</b> Direccionamiento de memorias de entrada y salida en el PLC	44
<b>Figura 31-2:</b> Calculo de temperatura con la ecuación de la recta	45
<b>Figura 32-2:</b> Normalización y escalamiento de señales analógicas	45
<b>Figura 33-2:</b> Configuración de Parámetros de la instrucción MODBUS TCP	47
<b>Figura 34-2:</b> Instrucción MB_SERVER parametrizada	47
<b>Figura 35-2:</b> Configuración de un nuevo VI	48
<b>Figura 36-2:</b> Nuevo Server MODBUS	48
<b>Figura 37-2:</b> Configuración del Server	49
<b>Figura 38-2:</b> Direccionamiento de MODBUS	49
<b>Figura 39-2:</b> Intercambio de datos entre los registros	51
<b>Figura 40-2:</b> Envío de registros a través de ethernet	51
<b>Figura 41-2:</b> Interfaz de usuario	51
<b>Figura 42-2:</b> Control por histéresis On/Off para temperatura y humedad	52
<b>Figura 1-3:</b> Comunicación de sensores con maestro IO-Link	53
<b>Figura 2-3:</b> Comprobación de comunicación PLC-Maestro	54
<b>Figura 3-3:</b> Comprobación de comunicación MODBUS Ethernet	54
<b>Figura 4-3:</b> Simulación de temperatura	55
<b>Figura 5-3:</b> Simulación de humedad	55
<b>Figura 6-3:</b> Simulación de polvo	56
<b>Figura 7-3:</b> Simulación de temperatura, humedad y polvo	56
<b>Figura 8-3:</b> Sensor expuesto a pruebas de polvo	70
<b>Figura 9-3:</b> Sensor expuesto a pruebas de polvo y temperatura	71
<b>Figura 10-3:</b> Sensor expuesto a pruebas de polvo y humedad	73
<b>Figura 11-3:</b> Panel nido de abeja expuesto a pruebas de temperatura	73

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Diagrama de dispersión del sensor IO-Link RTD.....	59
<b>Gráfico 2-3:</b> Diagrama de dispersión para el sensor IO-Link RTD .....	60
<b>Gráfico 3-3:</b> Diagrama de dispersión para el sensor IO-Link RTD con polvo .....	61
<b>Gráfico 4-3:</b> Diagrama de dispersión del sensor RTD .....	62
<b>Gráfico 5-3:</b> Diagrama de dispersión para el sensor RTD .....	64
<b>Gráfico 6-3:</b> Diagrama de dispersión para el sensor RTD con polvo .....	64
<b>Gráfico 7-3:</b> Diagrama de dispersión del sensor IO-Link Inductivo.....	66
<b>Gráfico 8-3:</b> Diagrama de dispersión del sensor IO-Link Inductivo.....	69
<b>Gráfico 9-3:</b> Diagrama de dispersión del sensor IO-Link Inductivo con polvo.....	69

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b> Expresión para determinar el direccionamiento MODBUS TCP .....	50
---	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Datasheet Condicionador DAT 2065

**Anexo B:** Datasheet módulo entradas analógicas

**Anexo C:** Datasheet maestro IO-Link

**Anexo D:** Datasheet IO-Link RTD

**Anexo E:** Datasheet IO-Link Inductivo

**Anexo F:** Datasheet Inductivo

**Anexo G:** Datasheet IO-Link Réflex

**Anexo H:** Datasheet Réflex

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>C/Q:</b>	Canal de Comunicación
<b>DR:</b>	Data Read
<b>HMI:</b>	Interfaz Hombre Máquina
<b>IC:</b>	Circuito Integrado
<b>ICH:</b>	Conferencia Internacional sobre Armonización
<b>IEC:</b>	Comisión Electrónica Internacional
<b>I/O:</b>	Entrada/Salida
<b>LAN:</b>	Red de Área Local
<b>LVDT:</b>	Transformador Diferencial de variación lineal
<b>NDR:</b>	New Data Ready
<b>NTC:</b>	Coefficiente de Temperatura Negativo
<b>OSI:</b>	Intercomunicación de Sistemas Abiertos
<b>P2P:</b>	Point to Point (Punto a Punto)
<b>PLC:</b>	Controlador Lógico Programable
<b>PTC:</b>	Coefficiente de Temperatura Positivo
<b>RTD:</b>	Detector de Temperatura Resistivo
<b>TCP/IP:</b>	Protocolo de control de transmisión/protocolo de internet
<b>TdT:</b>	Tipo de Tiempo
<b>WAN:</b>	Red de Área Amplia

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación fue desarrollado con el objetivo de implementar un sistema de diagnóstico de sensores inteligentes con el estándar IO-Link en ambientes agresivos, como son altas temperaturas, humedad en el ambiente y la presencia de polvo en el entorno, con la finalidad de poner a prueba tanto, sensores IO-Link como sensores convencionales. La cámara de pruebas implementada es capaz de simular estas condiciones adversas mediante el uso de tres estaciones implementadas dentro de la misma, en primer lugar, se cuenta con una de resistencia térmica que suministra calor, la variación de humedad se logra a partir del uso de un nebulizador ultrasónico, la última estación está conformada por un sistema de expulsión de aire el cual lleva consigo el polvo; todas las estaciones son capaces de modificar sus respectivas magnitudes ayudando a la fácil obtención de datos para contrastarlos con los valores pre establecidos por el fabricante. El prototipo funciona automáticamente a través de una interfaz desarrollada en LabVIEW la cual también permite la recolección de datos, este protocolo abierto de comunicación admite la conexión con un controlador lógico programable (PLC) Siemens. Se concluye que los datos obtenidos por los sensores puestos a prueba, brindaron información convincente de que tanto sensores inteligentes como sensores convencionales se ven afectados en la presencia de condiciones agresivas en el ambiente. Se recomienda realizar un control mejorado para una fácil adquisición de datos.

**Palabras Claves:** <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <CONTROL DE AMBIENTES>, <AMBIENTES AGRESIVOS>, <EVALUACIÓN DE SENSORES>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <ESTANDAR IO-LINK>, <ESTACIÓN DE PRUEBAS>.

## **ABSTRACT**

The present degree work was developed with the aim of implementing a diagnostic system of intelligent sensors with the IO-Link standard in aggressive environments, such as high temperatures, humidity in the ambience and the presence of dust in the atmosphere, with the purpose to test both, IO-link sensors as conventional sensors. The implemented test Chamber is able to simulate these adverse conditions through the use of three stations implemented within it, firstly, it has a thermal resistance that provides heat, moisture variation is achieved from the use of an ultrasonic nebulizer, the last station is formed by an air extraction system which carries the dust, all the stations are able to modify their respective magnitudes, helping to obtain data in order to compare them with the values established by the manufacturer. The prototype works automatically through an interface developed in LabVIEW which also allows data collection,

This open communication protocol supports connection with a Siemens programmable logic controller (PLC). It is concluded that the data obtained by the sensors tested provided convincing information that both smart sensors and conventional sensors are affected in the presence of aggressive conditions in the environment. It is recommended to perform an improved control for easy data acquisition.

**Key Words** : < AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY >, < CONTROL ENVIRONMENTS >, < AGGRESSIVE ENVIRONMENTS >, < SENSOR EVALUATION >, < LABVIEW (SOFTWARE)> < PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, < IO-LINK STANDARD >, < TEST STATION >.

# INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

Hoy en día, los sensores que normalmente se utilizan en la industria, específicamente en gran parte del Ecuador, no cuentan con un sistema que nos permita identificar el error por el cual este o estos no cumplen con su función específica, generando de esta manera pérdidas en el proceso automático en el cual ellos estén implicados.

A finales de la década de los 80, se comenzaron a desarrollar dispositivos de campo inteligentes basados en microprocesadores. Estos instrumentos digitales requerían una nueva generación de redes de campo de comunicación digital. El término genérico dado a todas estas redes de comunicación digital usada en la industria es “buses de campo” que en inglés es fieldbus (Granado, 2016).

El desarrollo del control distribuido que está formado por una gran variedad de campos que van paralelo al de las comunicaciones. Esto está evocado a diferentes niveles de abstracción sobre integración y producción de acuerdo a la filosofía de la "Computer Integrated Manufacturing" - CIM. Cada vez es más necesario disponer de dispositivos inteligentes para realizar el control o la supervisión remota (Kaschel and Pinto, 2014).

En (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2015) dice que la humedad juega un rol en todos los procesos industriales. El solo hecho de que la atmósfera contiene humedad hace que, por lo menos, se estudie su efecto en el almacenamiento y operación de los distintos productos y dispositivos. El alcance que la influencia de la humedad podría tener en cualquier proceso industrial puede variar, pero es esencial que al menos sea monitoreada, y en muchos casos controlada.

Los sensores desarrollan tareas para las que antes se necesitaba de un operario, ahora realizan esta misma actividad sin tocar ni mover la pieza, con más precisión y rapidez, sin desgaste ni cansancio y a una fracción del costo, además una consideración importante es que el tiempo de respuesta en los sensores es instantáneo, una vez que el objeto que se necesita detectar cae dentro de su rango de operación en el que trabaja o en el que se ajustó el sensor (Amador, 2005).

La necesidad de incorporar en los procesos industriales funciones de control y supervisión, ha favorecido el surgimiento de aplicaciones de software que permiten monitorear, adquirir datos y controlar las funciones del proceso. Adicionalmente; la función específica de control se delega a un controlador lógico programable (PLC) y la comunicación entre éste y el PC se efectúa a través de aplicaciones estándar que facilitan el intercambio dinámico de datos (Osorio, Vargas and Escobar, 2012).

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Debido a los cambios que encontramos en el entorno industrial tales como la humedad, la temperatura y polvo puede generar una deficiente adquisición y baja confiabilidad de la señal de los sensores.

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué diseño experimental me permitiría evaluar la eficiencia de los sensores IO-Link óptico, temperatura e inductivo bajo condiciones extremas de funcionamiento?

¿Cuáles son los valores máximos y mínimos de las variables físicas que se monitorean en sensores IO-Link evaluadas a partir de los datos del fabricante?

¿Existe alguna relación entre el comportamiento de los sensores de su entorno industrial determinado por las variables humedad, temperatura y polvo?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

A medida que la tecnología aumenta es necesario analizarla y de esta manera lograr un cambio importante en nuestros estudios, y más importante aun cuando esta tecnología está referenciada a la automatización porque está en auge en las industrias.

El proyecto nace con la finalidad de estudiar una de estas nuevas tecnologías, en este caso los diferentes sensores inteligentes bajo el estándar IO-Link, este estándar nos permite aprovechar varias ventajas que son: inmunidad a interferencias, sencilla sustitución de los sensores y además que se tiene la posibilidad de detectar una rotura en algún cable logrando de esta forma ganar tiempo, porque de esta forma conoceríamos directamente el problema que se está presentando.

El estándar IO-Link nos permitirá parametrizar sensores de forma automática, además nos ayuda a elaborar un diagnóstico sobre los estados de las instalaciones y también es factible la transmisión de valores de medición sin pérdida de datos.

Los sensores tienen un amplio campo de acción ya que actualmente se los utiliza en una infinidad de lugares, un lugar en el que es prescindible usar es la industria porque en todas las máquinas se necesita sentir un movimiento, sea este para el control de la máquina o para evitar que se produzcan fallos en ella, sean estos por falta de presión o también el elevado incremento de las temperaturas. Es poco probable encontrar alguna industria que no cuente con algún tipo de sensor ya que estos se han convertido en un elemento indispensable, encontrándose estos ya no solo en industrias sino también en hogares, oficinas, y en casi cualquier parte.

Los agentes externos hacen que en ocasiones nuestros sensores fallen en la recolección de datos, el polvo, la humedad, las vibraciones afectan a un largo plazo a nuestros elementos.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

Mediante la implementación del estándar IO-Link, se analiza de forma experimental el efecto del enlace de comunicación sobre una señal analógica capturada en un esclavo que es transmitida a un maestro. La principal ventaja de utilizar el estándar IO-Link, y la que los hace más atractivos a los usuarios finales, es la reducción de costos. El ahorro proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en costo de instalación, ahorro en el costo de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema (Kaschel and Pinto, 2014).

Para nuestro proyecto nos planteamos el diseño de una cámara de pruebas que nos permita realizar el estudio de los sensores sometidos a distintos agentes que afectarían la adquisición de datos de los mismos, los agentes que consideramos para nuestro proyecto son la humedad, el polvo, y la temperatura.

Los sensores que vamos a someter a dichas pruebas son los siguientes:

- Sensor Óptico.
- Sensor de Temperatura.
- Sensor Inductivo.

En estos sensores se podrá apreciar de mejor manera la pérdida de datos que generarían los agentes externos a los cuales serán sometidos. La adquisición de datos lo haremos a través de un

controlador lógico programable y un PC. Para la temperatura nuestra cámara de pruebas contará con resistencias térmicas que nos permitirá elevar esta magnitud.

Nuestra cámara tendrá la capacidad de esparcir las partículas de polvo para el estudio de nuestros sensores sometidos a este factor, para la humedad se la proporcionará de la siguiente manera: Tendremos un calentador de agua, este calentador emitirá vapor, y para conocer la humedad dentro de nuestra cámara usaremos un sensor de humedad conectado a nuestro controlador lógico programable.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO PRINCIPAL**

Diseñar e implementar un sistema para diagnóstico de sensores inteligentes con el estándar IO-Link en ambientes agresivos.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar un sistema experimental que me permita evaluar la eficiencia de los sensores IO-Link en ambientes agresivos.
- Contrastar los datos obtenidos con los valores máximos y mínimos establecidos por el fabricante del sensor IO-Link.
- Establecer una relación entre el comportamiento de los sensores sometidos a diferentes variables del entorno industrial como son: temperatura, humedad y polvo.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En la presente investigación, es necesario abarcar todos los temas relacionados con el desarrollo de un sistema de diagnóstico de sensores inteligentes con el estándar IO-Link en ambientes agresivos, detallando minuciosamente las características y el comportamiento de cada uno de los dispositivos utilizados. Así mismo la descripción del software que se usan para la obtención de los datos.

### 1.1 Cámara de simulación ambientales

Se define a una cámara climática un recinto en el cual todos los factores que caracterizan a un determinado TdT o a un clima concreto se pueden reproducir y controlar artificialmente (San Gil, González De Rivera and González, 2007). Los factores que intervienen por lo general en una cámara climática son la temperatura, humedad y presión.

El objetivo de estas cámaras es simular condiciones agresivas en dispositivos que se encuentren dentro de ellas, extrayendo datos en tiempo real para su posterior análisis, verificando el comportamiento y la calidad de los elementos expuestos a dichas pruebas.

#### 1.1.1 Tipos de Cámaras

Los tipos de pruebas que se realizan en las cámaras no son las mismas, por tal motivo se delimita las condiciones internas a simular. Todos los elementos trabajan de diferente manera por lo cual existen en diversas características donde el control de algunas magnitudes debe ser más precisos.

##### 1.1.1.1 Cámaras Climáticas de Estabilidad

Se las puede llamar también cámaras de clima constante, esta permite mantener el estado de temperatura y humedad deseada por un amplio lapso de tiempo como se aprecia en la Figura 1-1, se las utiliza para el almacenamiento de productos farmacéuticos, biológicos, químicos y otros.

Una clara referencia es el sector farmacéutico, donde los estudios de estabilidad de fármacos y medicamentos son muy rigurosos y de larga duración en condiciones climáticas y

homogeneidades establecidas por normativas, tanto las cámaras climáticas como su software deben estar correctamente validados según los procedimientos marcados por la ICH. Uno de los estudios de estabilidad se realiza almacenando el producto durante 12 meses en condiciones de 25°C +/- 2°C de temperatura y 60% +/- 5% de Humedad Relativa (Industria Cosmética, 2017, p. 32), (Europa *et al.*, 2003).



**Figura 1-1:** Cámara climática de estabilidad

Fuente: (MPCONTROL, 2018)

#### 1.1.1.2 Cámara Climática de Ensayo

Estas cámaras también conocidas como Testing, replican ambientes similares al entorno en el que se encuentren. A través de un software, dichas cámaras logran elevar sus características ambientales a condiciones agresivas, además, este permite recolectar y registrar datos que facilitan las pruebas pertinentes.

Un claro ejemplo para la utilización de estas cámaras es en el entorno industrial donde poseemos condiciones adversas y variante al entorno convencional, siendo estas altas temperaturas como se observa en la Figura 2-1; cambios bruscos de humedad y/o presencia de partículas, que puedan alterar el funcionamiento correcto de diversos equipos, dispositivos y materiales.



**Figura 2-1:** Prueba de temperatura en cámara de ensayo

**Fuente:** (Applus Laboratories, 2015)

#### *1.1.1.3 Cámaras Climáticas Compactas*

Nombradas también cámaras monobloque por su apariencia semejante a la de un refrigerador, pero a una escala más pequeña. Poseen grandes prestaciones comúnmente utilizadas en la industria. Para lograr las condiciones necesarias en su interior, se las fabrica con materiales resistentes como lo son el acero inoxidable y aislantes que impiden la fuga de las condiciones climáticas.

#### *1.1.1.4 Cámaras Climáticas Modulares*

Se las llama visitables, transitables o walk in, son bases o espacios parecidos a la de una habitación construidas con paneles isotermos en sus paredes, suelo, techo y puerta, dejando las condiciones climáticas generadas estables en su interior. Fabricadas a partir de los 2000 litros o 2 metros cúbicos en volumen hasta estaciones mucho más grandes dependiendo de las especificaciones requeridas.

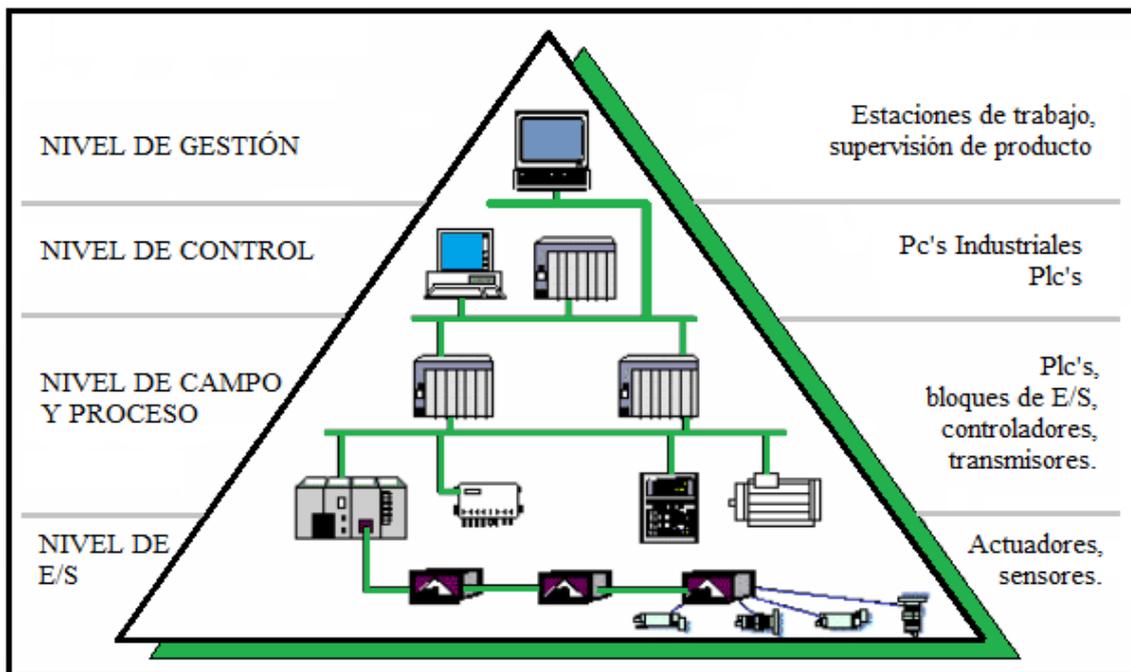
## **1.2 Redes Industriales**

Se la define como un conjunto de equipos o estaciones conectadas entre sí, de tal manera que compartan información detallada de cada una de las estaciones. Generalmente esta red puede estar conformada por los siguientes equipos controladores, sensores y actuadores, módulos

inteligentes, sistemas de control distribuido e interfaces de operador (Julio César Caicedo Erazo, 2006).

### 1.2.1 Jerarquía de Automatización Industrial

Las redes industriales poseen dispositivos de varios fabricantes, los cuales se combinan jerárquicamente dependiendo del área a la cual desempeñará su función. En una red industrial se puede definir comúnmente cuatro niveles, como podemos observar en la figura 3-1, (Universidad del Cauca, 2009):



**Figura 3-1:** Jerarquía en una red Industrial

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Esta jerarquización no es universal, depende mucho del tamaño de la industria y los procesos que se ejecutan, por ende, habrá un número mayor o menor de niveles.

#### 1.2.1.1 Nivel de Gestión

Es el nivel superior dentro de la jerarquía de la red industrial, en esta se enlazan las diferentes instalaciones de trabajo con el área de gestión permitiendo de esta manera supervisar las ventas y stock de los productos. La comunicación en este nivel es empleada a través de redes WAN o LAN, manejando protocolos como ethernet.

#### *1.2.1.2 Nivel de Control*

Son los distintos protocolos que vinculan los equipos de control industriales como son las computadoras de alta gama, sistemas de control distribuidos básicos, PLC e Interfaces de operador, que se usan para la ejecución del proceso.

#### *1.2.1.3 Nivel de Campo y Proceso*

En este nivel se realiza las conexiones de los distintos equipos en un bus de campo, por ejemplo, el protocolo de comunicación libre de Siemens PROFINET. Por lo general en este nivel los autómatas funcionan como maestros del siguiente subnivel de jerarquización.

#### *1.2.1.4 Nivel de Entradas y Salidas*

Sensores y actuadores se encuentran en este nivel, ayudan a la fácil automatización de procesos porque estos se encargan de obtener los datos para el correcto proceso de automatización, haciendo que este nivel sea el más próximo al proceso.

### ***1.2.2 Arquitecturas de Red***

Las arquitecturas de red surgieron a partir de la necesidad de interconectar sistemas abiertos, un sistema abierto está capacitado para enlazarse con otros, mediante protocolos establecidos colaborando entre ellos. Es indispensable asignar el sistema de transmisión que se va a usar en el intercambio de datos para la comunicación entre equipos, además de sus protocolos.

Para solucionar la estructura en un diseño de una red de computadores, el método empleado es la división por capas o niveles, mediante esta división por capas la resolución del problema se redujo en partes más sencillas. Cada capa está ordenada de forma que el problema se dirige a una capa en específico.

#### *1.2.2.1 Modelo OSI*

El modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), permite a los clientes ver los cambios que se producen en cada capa dentro de una función de red, es posible hacer un seguimiento del trayecto de la información a través del medio de red, hasta otro dispositivo con el mismo programa de aplicación.

A este modelo no se lo considera por si solo una arquitectura de red, para considerarse así necesita de protocolos que consecutivamente los fabricantes de software en comunicaciones los fueron implementando, acoplándose a las necesidades de cada capa.

**Tabla 1-1:** Características de las capas en OSI

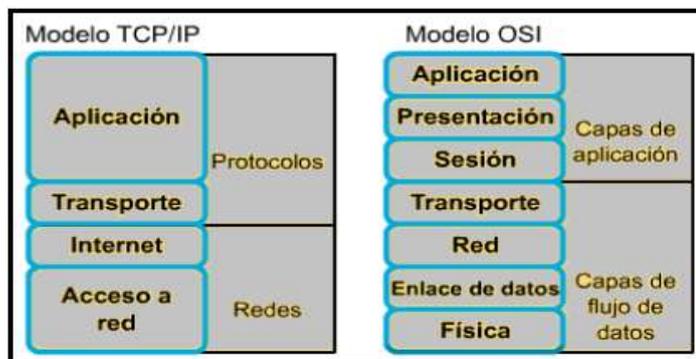
Nivel	Capa	Función	Características
1	Física	Soporte físico de transmisión	Señales que codifican la información Medio de transmisión (cable, aéreo)
2	de Enlace	Método de acceso Estructuración de los mensajes en tramas	Comprobación errores Control del acceso al medio de transmisión
3	de Red	Encaminamiento hacia otras sub redes	Interconexión entre distintas sub redes
4	de Transporte	Establecimiento/terminación de conexiones Confirmaciones Segmentación	Transmisión asegurada de información
5	de Sesión	Sincronización Control de comunicación	Coordinación de la comunicación (Inicio, fin)
6	de Presentación	Representación de datos	Lenguaje común
7	de Aplicación	Funciones de aplicación	Leer/escribir – recibir/enviar Transferencia de archivos

Fuente: (Universidad de Oviedo, 2006, p. 6)

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

### 1.2.2.2 Modelo TCP/IP

Este modelo consta de 4 capas, como se detalla en la figura 4-1, es un conjunto de protocolos que establecen una conexión entre máquinas de distintas redes. Para transmitir la información se lo hace a través de un paquete IP, estos poseen una cabecera y un tramo con datos llegando de esta forma a su destino.



**Figura 4-1:** Comparación entre el modelo TCP/IP y el modelo OSI

Fuente: (UNICEN, 2016)

### 1.3 Interfaz de Operador

La importancia del uso de las interfaces para operador, es la facilidad que nos brinda para el control, supervisión y monitoreo de distintos procesos en la industria. Para que el operador entienda el estado de un proceso mediante una interfaz de operador, se cumplen las siguientes condiciones:

- El operador deberá entender de forma sencilla lo que está pasando en ese momento.
- Para la toma de decisiones las condiciones deben ser correctas.
- Asegurar que los equipos trabajen correctamente.
- Los procesos deben ser confiables.
- Una navegación sencilla entre los distintos niveles de la interfaz.

#### 1.3.1 Aspectos en la Interacción Hombre-Máquina

Se cumplen los siguientes aspectos especiales, (Universidad del Cauca, 2008, p. 86):

- Indicación del estado del proceso

Para indicar un estado de un proceso se usa entre los más importantes: terminales de video, lámparas emisoras de luz, registradoras. La interfaz puede estar en juego con: teclados, pantallas táctiles, mouse, etc.

- Tratamiento e indicación de las situaciones de alarmas

Al presenciarse un estado anormal el operador tendrá que identificar las alarmas que se presenten en dicho momento, por ejemplo, al poseer una pantalla se mostraran símbolos, colores de advertencia, videos específicos, alertas sonoras o impresiones que emitirán mensajes directos de alarma.

- Ejecución de acciones de mando

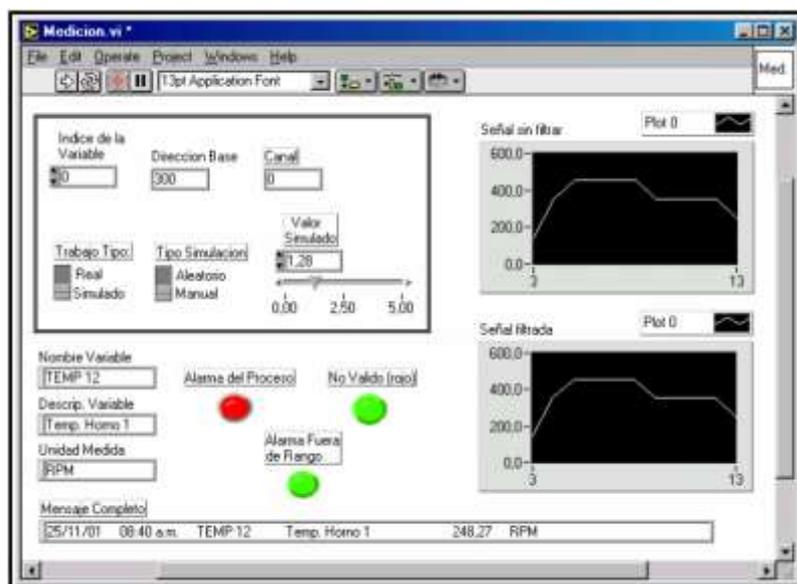
Para ejecutar las diversas acciones se emplean técnicas típicas como son el empleo de pulsadores, interruptores, pantallas táctiles, lápiz óptico, mouse y teclado.

### 1.3.2 Modos de presentación de la información

Alguna de las veces la presentación de la información no se las hace de forma adecuada, en ciertos casos para el manejo de sistemas mucho más grandes la cantidad de variables aumenta, por ello es imprescindible que tanto la presentación de la información como el diseño sea el adecuado. A continuación, se presentan los siguientes modos de utilización:

- La presencia de símbolos que identifican las acciones de un proceso ayuda a que el operador puede memorizarlas, haciendo que de esta manera aumente la confiabilidad.
- Las cifras se deben emplear en la representación exacta de datos.
- Los colores nos ayudan entre otros a la identificación de diversas situaciones, como norma se debe emplear hasta seis colores para las siguientes acciones alarmas de peligro, alarmas de atención, funcionamiento correcto, falla en el sistema.
- La representación de datos y magnitudes en pantallas o interfaces de operador se lo hace mediante barras, por la rápida reacción que el operador hace al compararlas.
- En las características cualitativas como tipo estructura o selección se la simboliza a través del alfabeto, tomando en cuenta el tamaño y la fuente.
- Diversos tipos de línea para la representación de contornos y trayectorias.
- Los botones y los iconos se distribuyen de forma adecuada por toda la pantalla, estos facilitan la navegación entre pantallas.

En la figura 5-1, se puede observar la implementación de los distintos modos de presentación de una interfaz con LabVIEW.



**Figura 5-1:** Implementación de una interfaz con LabVIEW

**Fuente:** (Universidad del Cauca, 2008)

## 1.4 IO-Link

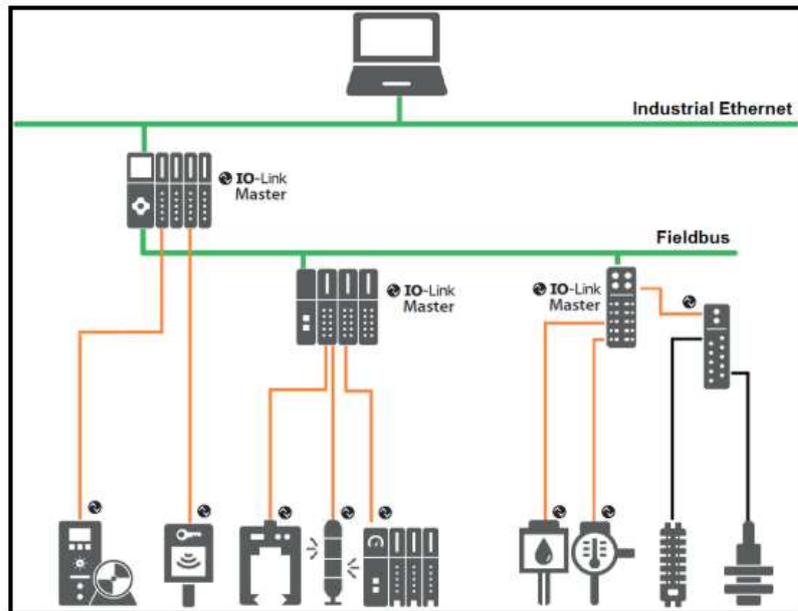
Es el primer estándar internacional (IEC 61131-9) con tecnología de comunicación para dispositivos I/O como sensores y actuadores. Esta nueva tecnología posee grandes ventajas como: (IO-Link, 2018, p. 3)

- Al ser un estándar abierto, los sistemas de automatización y sistemas de bus de campo normalmente utilizados se integran sin causar conflictos de compatibilidad.
- Puesta en marcha y parametrización rápida.
- Estandarización para un cableado simple y reducción significativa de interfaces para sensores y actuadores.
- Permite la combinación de dispositivos como sensores y actuadores con y sin IO-Link en un maestro IO-Link.
- Fácil acceso a los datos de los dispositivos IO-Link para una sencilla resolución de problemas.
- Personal capacitado o no, puede realizar la sustitución del dispositivo defectuoso, reduciendo así el tiempo de parada en un proceso.
- En caso de sustitución de un dispositivo, la calidad de los resultados en producción y fabricación es garantizada.

### 1.4.1 Componentes Básicos

Los componentes que constan en un sistema de arquitectura IO-Link como se muestra en la figura 6-1, son:

- Maestro IO-Link
- Sensores, Actuadores, Módulos E/S IO-Link
- Cables estandarizados de tres o cinco conductores
- Software de condicionamiento IO-Link



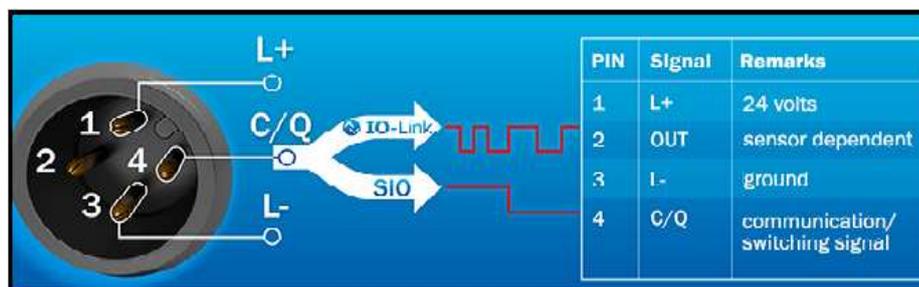
**Figura 6-1:** Sistema de arquitectura IO-Link

Fuente: (IO-Link, 2018, p. 4)

El maestro IO-Link hace las veces de intérprete entre los dispositivos esclavos y el controlador lógico programable. Tanto la arquitectura del autómatas como la del maestro se realiza de forma análoga con el fin de combinar ambas arquitecturas.

#### 1.4.2 Interfaz IO-Link

La comunicación de un sistema IO-Link es bidireccional p2p lo que significa que envía y recibe señales en una transmisión de datos, para dicha conexión se usa un conector M12 que por lo general tienen entre cuatro a cinco pines. Según el estándar IEC 60974-5-2 la configuración de pines es la siguiente, obsérvese en la figura 7-1:



**Figura 7-1:** Asignación de pines en un dispositivo IO-Link

Fuente: (SICK, 2018)

Pin 1: 24 V DC

Pin 3: 0V

Pin 4: Línea de conmutación y comunicación (C/Q)

A través de estos pines circula una corriente de al menos 200 mA.

#### 1.4.2.1 Puerto Clase A

Dependiendo del fabricante los pines dos y cinco varían, pero comúnmente al pin número dos se le asigna un canal digital extra.

#### 1.4.2.2 Puerto Clase B

La ventaja que tiene esta clase de puerto con respecto al otro es una fuente de alimentación adicional proporcionada por los pines dos y cinco, si requiere usar esta tensión el dispositivo IO-Link debe disponer de 5 polos.

**Tabla 2-1:** Distribución de los pines en las diferentes clases de puertos

Puerto Maestro IO-Link Clase A	Puerto Maestro IO-Link Clase B
Pin 1: Alimentación +24V DC	Pin 1: Alimentación +24V DC
Pin 3: Tierra 0V DC	Pin 3: Tierra 0V DC
Pin 4: Comunicación configurable entre IO-Link o I/O	Pin 4: Comunicación configurable entre IO-Link o I/O
Pin 2: Depende del fabricante o configurable como I/O	Pin 2: Alimentación +24V DC
Pin 5: No se usa	Pin 5: Tierra 0V DC

Fuente: (Shishir Rege, 2017)

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernan; 2018.

#### 1.4.3 Protocolo IO-Link

El estándar IO-Link maneja distintas velocidades de transferencia en baudios para el maestro y los sensores como son el COM 1, COM 2, COM 3. Dependiendo del dispositivo el maestro asigna una sola velocidad.

#### *1.4.3.1 Modos de Funcionamiento*

Existen cuatro modos de operación en el maestro IO-Link:

- IO-Link: se aceptará solo comunicación IO-Link para este puerto.
- DI: puerto declarado para dispositivos de entrada digital.
- DQ: puerto declarado para dispositivos de salida digital.
- Desactivado: el puerto esta deshabilitado.

#### *1.4.3.2 Calidad de la Transmisión*

Gracias a su robustez el estándar maneja un nivel de comunicación de 24V, al momento de existir fallas en la transmisión la trama se repite dos veces más, si en el segundo intento la transmisión sigue fallando esta es reconocida por el maestro IO-Link enviando un mensaje de alerta al PLC.

#### *1.4.3.3 Tipos de Datos*

Están disponibles cuatro tipos de datos básicos:

- Datos de Proceso: transmitidos cíclicamente, el dispositivo especifica un tamaño entre 0 y 32 bytes para cada entrada y salida. Este tamaño de datos no es fijo depende del maestro.
- Estado del Valor: Indica si el dato del proceso es válido o inválido.
- Datos de Dispositivo: estos pueden ser datos de parámetros, de identificación y de diagnóstico dependiendo del maestro, es posible leerlos o escribirlos en el dispositivo.
- Eventos: son mensajes de error, advertencia o mantenimiento, se los puede observar mediante un HMI o al PLC.

#### *1.4.4 Perfiles de Dispositivos*

Se define la estructura de datos, los contenidos de datos y la funcionalidad básica, para estandarizar la manera en que el programa de usuario en PLC accede a los diversos dispositivos, se definen perfiles de dispositivos IO-Link (As S Id, 2013).

##### *1.4.4.1 Perfiles para IO-Link*

Se definen en la actualidad los siguientes perfiles:

- Para sensores de conmutación binarios
- Para sensores de medición digital
- Para dispositivos con un comportamiento uniforme del sistema

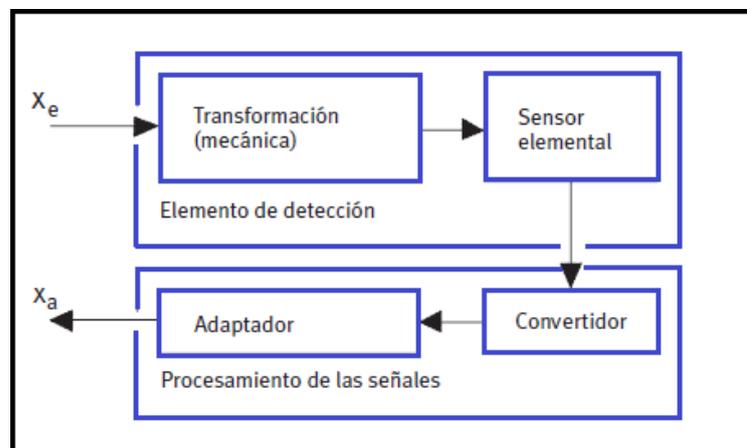
Un ejemplo de uso para los perfiles de conmutación binarios, se encuentra en los sensores réflex dado que estos son de conmutación simple o booleanos. El perfil para dispositivos de medición digital nos proporciona un valor semejante a una unidad física de medición como por ejemplo los grados centígrados en la temperatura.

## 1.5 Sensores

Los sensores son aquellos que transforman las señales de alguna magnitud, en otra de diferentes características, un claro ejemplo de la transformación de las señales en los sensores es una termocupla que convierte la temperatura medida a un voltaje relacionado, otro ejemplo es cuando se aprovecha la variación de la resistencia en una resistencia metálica para generar un voltaje relacionado a la temperatura

Para la utilización de la resistencia térmica es necesario de un circuito y una fuente de alimentación, en cambio en la termocupla sin la necesidad del uso de un circuito o alguna fuente de alimentación, genera una tensión al unir dos metales a cierta temperatura. Un transductor es la unión de una resistencia con un circuito como en el primer caso, estos sensores por si solos no producen una señal exacta por ende necesitan de etapas como amplificación o un filtro de señales.

En la figura 8-1 se enseña el esquema del funcionamiento de un sensor, por norma la señal debe ser procesada de alguna forma, para que así llegue correctamente a un sistema constituido por actuadores.



**Figura 8-1:** Esquema del Funcionamiento de un Sensor

Fuente: (Hesse, 2006)

Los sensores se pueden clasificar según el tipo de la señal de salida o según la magnitud física a detectar, según el tipo de señal de salida: analógicos, digitales, todo o nada; según la magnitud física a detectar: posición, temperatura, velocidad, caudal, proximidad, presión, etc. (Balcells and Romeral, 2009).

**Tabla 3-1:** Clasificación de los Sensores

Magnitud Detectada	Sensor	Señal de Salida
Posición Lineal o angular	Finales de carrera	Todo-Nada
	Potenciómetros	Analógica
	Encoders (Absolutos/incrementales)	Digital
Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformadores diferenciales (LVDT)	Analógica
	Galgas extensiométricas	Analógica
Velocidad lineal o angular	Dinamos tacométricos	Analógica
	Encoders (Absoluto/incremental)	Digital
	Detectores inductivos	Digital
Aceleración	Acelerómetros	Analógica
	Sensor de velocidad + calculador	Digital
Fuerza y Par	Medición Indirecta (mediante galas o transformadores diferenciales)	Analógica
Nivel	Flotador + detector desplazamiento	Analógica
	Capacitivos	Analógica
	Ultrasonidos	Digital
Presión	Membrana + detector de desplazamiento	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
Caudal	Presión diferencial (diafragmas/tubos de Venturi)	Analógica
	De turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termostatos	Todo-Nada
	Termopares	Analógica
	Termorresistencias (PT100)	Analógica
	Resistencias NTC	Analógica
	Resistencias PTC	Analógica
	Pirómetros	Analógica
Sensores de Presencia o proximidad	Inductivos	Todo-Nada
	Capacitivos	Todo-Nada
	Ópticos (células fotoeléctricas)	Todo-Nada
	Ultrasónicos	Analógica
Sistemas de visión artificial	Cámaras de video y tratamiento de imagen	Procesamiento por puntos o pixels
	Cámaras CCD	

Fuente: (EUDIM, 2005)

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

### ***1.5.1 Características de los Sensores***

Se debe tomar en cuenta diversos aspectos al esquematizar un sistema de adquisición de datos por computadora, como son los siguientes:

- El tipo de acondicionamiento para señales como convertidores analógico-digital o cualquier otro hardware a utilizar, se fija por la naturaleza de la señal del sensor como es: respuesta en frecuencia, rango de amplitud, voltaje, precisión necesaria.
- Tomar en cuenta el efecto que produce el ruido en la adquisición de datos de la señal de un sensor.
- La calibración errónea del sensor produce mediciones inexactas.
- La relación recíproca entre los elementos de un sistema de adquisición de datos, para evitar un cuello de botella.
- La precisión del sensor para mantener la capacidad de medición de un valor.
- Para los cambios bruscos de medición en una variable verificar el tiempo de respuesta requerido.
- La tendencia del material de un sensor para conservar sus propiedades o conocido como histéresis (Andrickson Mora and Chacón Rugeles, 2005, p. 109).

### ***1.5.2 Sensores de Temperatura***

Por medio de la instrumentación electrónica, se tiene entre los sensores de temperatura más utilizados los siguientes: RTD, termistores, sensor de circuito integrado IC y termocuplas.

#### ***1.5.2.1 Detector de Temperatura Resistivo***

Estos detectores de temperatura de resistencia metálica son de los más precisos en la actualidad, su característica principal es su alta estabilidad ya que con estos se mide temperatura de entre 0 a 400 grados centígrados.

Está conformada por alambres finos o una capa muy fina de metal, variando su temperatura proporcionalmente a la resistencia. Generalmente son fabricados con metales como: tungsteno, níquel, cobre, oro y platino, de estos metales el que posee la más alta estabilidad y resistividad es el platino.

A continuación, se menciona algunas desventajas del detector de temperatura resistivo:

- Un costo elevado del sensor y su instrumentación.
- El sensor RTD (PT100) posee una baja resistencia de 100 ohmios a 0 grados centígrados y una sensibilidad de 0,4 ohmios por grados centígrados, por ello conectar los alambres es un problema.
- En la RTD se produce una dispersión de potencia generada por una corriente de excitación constante, esto hace que la RTD se sobrecaliente y genere una temperatura no deseada en la medición.

#### *1.5.2.2 Termistor*

*“Un termistor es un semiconductor hecho de dos óxidos metálicos unidos dentro de una pequeña bola, disco u otra forma y recubierto con epóxido o vidrio” (Andrickson Mora and Chacón Rugeles, 2005).*

Los termistores existen de dos tipos los de coeficiente positivo PTC y coeficiente negativo NTC, siendo los coeficientes de temperatura negativa los más empleados. Los valores nominales del termistor varían de entre 2252 ohmios a 10000 ohmios. Estos sensores se diferencian de los RTD por su alta sensibilidad.

#### *1.5.2.3 Sensor de Circuito Integrado IC*

Al igual que el termistor este sensor está formado por un semiconductor de la unión PN, al construirse con un chip la señal de salida que proporciona este sensor es lineal y proporcional a la temperatura. Estos pueden ser analógicos o digitales con la desventaja que su medición de temperatura está dada en el rango de 0 a 150 grados centígrados.

#### *1.5.2.4 Termocuplas*

Está conformado de dos alambres de distinto material unidos entre sí, generando un voltaje de entre los mili voltios al aplicar una temperatura en la unión de estos alambres. Existen distintos tipos de termocuplas, su composición se los hace de distintos materiales y se identifica con letras mayúsculas de acuerdo a la ANSII.

**Tabla 4-1:** Termocuplas industriales más usadas

Tipo ANSI	Combinación de metales	Sensibilidad	Rangos de temperatura (°C)
J	Hierro/Constantan	5.6 mV/100°C	-40 a +750
K	Cromel/Alumel	3.6 mV/100°C	-40 a 1200
T	Cobre/Constantan	4.5 mV/100°C	-50 a +400
E	Cromel/Constantan	7.9 mV/100°C	-40 a +900

Fuente: (UNLP de Argentina, 2007)

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernan; 2018.

### 1.5.3 Sensores Inductivos

Llamados también sensores de proximidad inductivos certifican su confiabilidad en ambientes adversos además de ser rápidos, precisos, y muy resistentes. Usan una detección sin contactos y circuitos de estado sólido, se encargan de detectar presencia de objetos metálicos cercanos. La distancia de conmutación en este sensor depende del diámetro del mismo, que por lo general es de algunos milímetros.

Para la optimización de estos sensores hay que tener en cuenta que el cambio en el rango de medida se verá afectada por la modificación en la distribución de campo, por la presencia de una bobina apantallada o no apantallada. Y la distancia de detección en estos sensores es estandarizada por su fabricante para la detección de objetos metálicos de diversos tamaños.

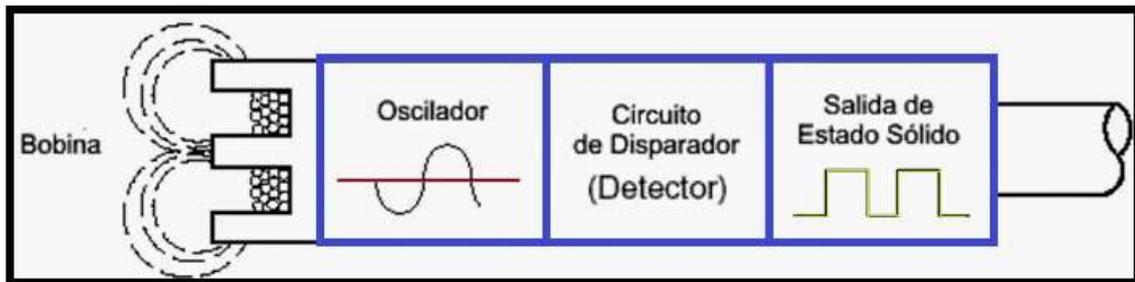
**Tabla 5-1:** Ventaja y desventaja en los sensores inductivos

Ventajas	Desventajas
El objetivo a detectar no entra en contacto directo.	Los objetos metálicos son los únicos que se detectan.
No se desgastan	
El número de detecciones no acorta su tiempo de vida.	Un campo electromagnético fuerte daña sus propiedades.
La humedad y el polvo no cambian sus propiedades.	
Posee un indicador luminoso que muestra su estado.	El rango de medida es muy corto
Tiene un tiempo de respuesta rápido.	

Fuente: (Fernández, 2005)

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernan; 2018.

Estos sensores generan un campo magnético donde se detectan pérdidas de corriente, que se forman al presenciar objetivos metálicos. Los sensores inductivos están conformados por una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor de nivel de disparo de la señal y un circuito de salida, en la figura 9-1 se observa cómo está constituido el sensor.

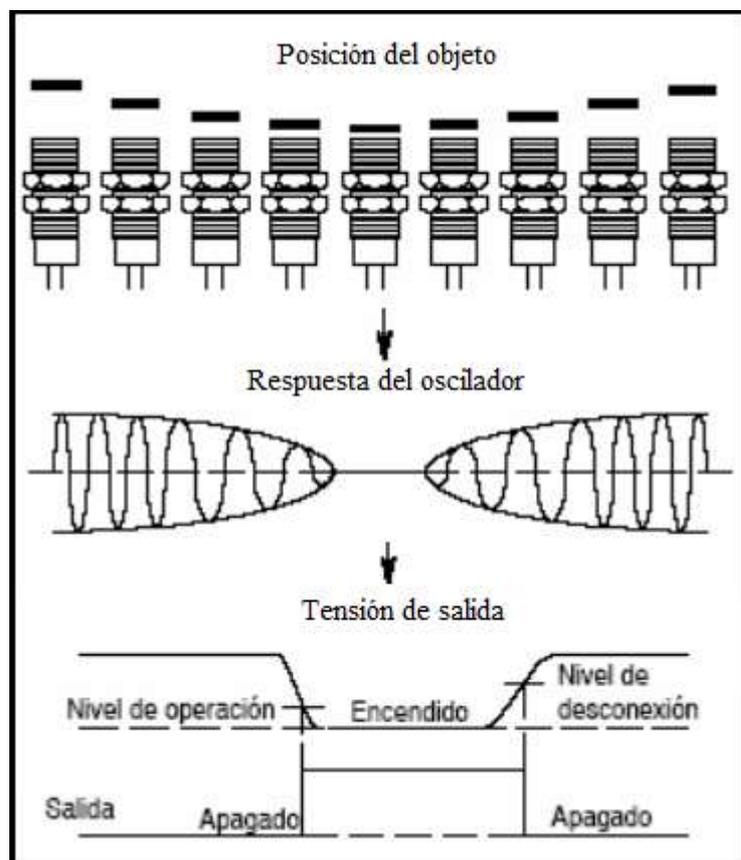


**Figura 9-1:** Constitución de un sensor inductivo

Fuente: (Ceisa Sacv, 2016)

Una corriente de histéresis se aplica en un objetivo al introducirlo en el campo magnético, por la bobina fluye una corriente oscilante que esparce un campo electromagnético desde la parte frontal del sensor. Este campo tiene forma dado que está dirigido por el núcleo de ferrita, asegurándonos que el campo se encuentre únicamente en la cara activa del sensor.

Al colocar en la parte frontal y a una determinada distancia un objetivo metálico, unas corrientes parasitas hacen que exista pérdidas de energía, tanto que la oscilación en el amplificador no se pueda mantener, colapsando de esta forma el campo generado. Este campo colapsado se detecta mediante un circuito de salida que modifica el estado, como se observa en la figura 10-1.

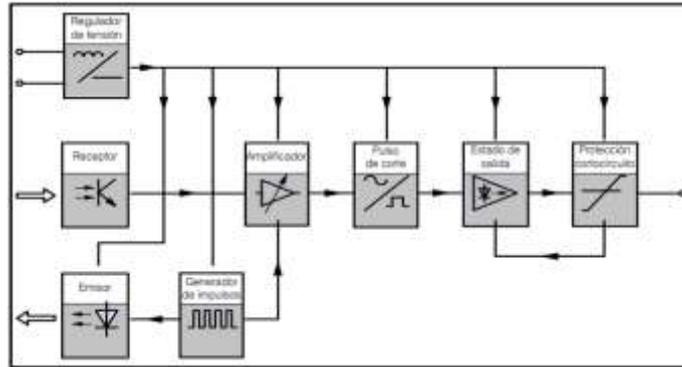


**Figura 10-1:** Área de funcionamiento del sensor

Fuente: (Fernández, 2005, p. 71)

### 1.5.4 Sensores Fotoeléctricos

Estos sensores funcionan con el principio emisor receptor, el emisor tiene un diodo emisor que envía un haz de luz a un determinado objeto. Su funcionamiento varía de la interrupción del haz de luz o de la luz reflejada, para posteriormente procesarla, en la figura 11-1 se aprecia los bloques funcionales en un sensor fotoeléctrico.



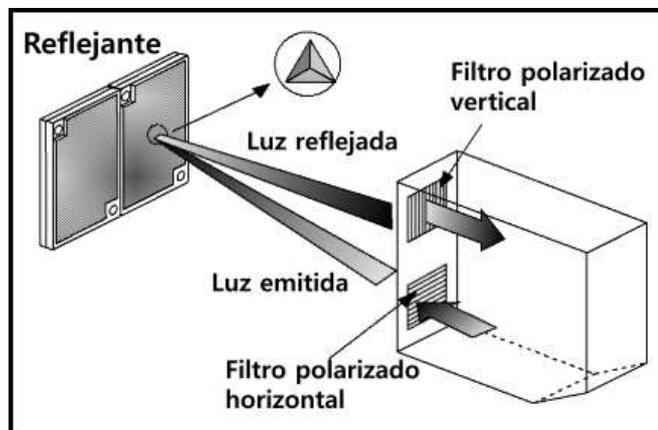
**Figura 11-1:** Bloque de funcionamiento del sensor fotoeléctrico

Fuente: (CONTRINEX, 2016)

#### 1.5.4.1 Sensor Fotoeléctrico Réflex

Los sensores réflex o en espejo, se caracterizan por tener el emisor y el receptor en un solo cuerpo y emitir su haz de luz a un panel o reflector alejado. La luz que rebota en este panel regresa al emisor, pero cuando el haz es interrumpido el emisor no detecta ningún haz, emitiendo una señal al controlador.

El rango de detección de estos sensores es de hasta 8 metros, con la particularidad de que es necesario usar un filtro de polarización para que el receptor del sensor detecte únicamente ese haz de luz, en la figura 12-1 se aprecia el funcionamiento del sensor réflex.



**Figura 12-1:** Funcionamiento del sensor

Fuente: (Autonics, 2015)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Introducción

En el presente capítulo se detallará la selección de equipos, implementación y la programación de un sistema de diagnóstico de sensores inteligentes con el estándar IO-Link en ambientes agresivos. Por lo tanto, la metodología a emplearse es experimental, que nos proporciona resultados cuantitativos y cualitativos.

#### 2.2 Requerimiento del Diseño de Diagnóstico de Sensores

Gracias al estudio en el capítulo previo el sistema a implementarse deberá cumplir los siguientes requerimientos:

- Que mantenga las características de los diferentes ambientes en el interior.
- Ser hermético para una estabilidad constante.
- Brindar seguridad al usuario u operador.
- Confiabilidad al recolectar datos en el sistema.
- Supervisar y controlar las variables de las condiciones adversas.
- Fácil manipulación para el operador.

#### 2.3 Descripción del proceso

En este sistema se toma en cuenta las siguientes etapas, figura 1-2:



**Figura 1-2:** Etapas de proceso

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

El funcionamiento del sistema inicia con la selección de las diferentes estaciones que posee, entre las cuales se tiene temperatura, humedad y polvo. Estas estaciones pueden funcionar al mismo tiempo dependiendo del usuario, dichas estaciones permiten al usuario setear valores a su conveniencia.

Se procede activar las estaciones una vez que el operador haya ingresado los datos que quiera manipular en el sistema, si el operador selecciona la estación de temperatura se enciende una resistencia térmica que varía las condiciones hasta el punto seteado, de igual forma en la estación de humedad mediante un nebulizador ultrasónico se alcanzará el valor seteado. Y en la estación de polvo mediante un sistema de ventiladores este ingresa a la cámara.

La recolección de datos se efectuará mediante un software de adquisición de datos al estabilizar el valor seteado con los datos en el interior de la cámara.

## **2.4 Selección de elementos**

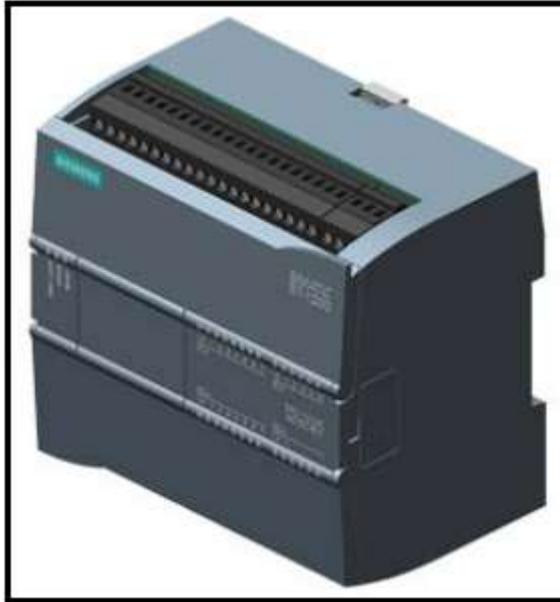
Se detalla a continuación las características de los dispositivos y equipos a usarse en la implementación de diagnóstico de sensores.

### **2.4.1 PLC**

Los dispositivos a analizarse en el sistema emplean valores de entre 4 a 20 mA o valores de entre 0 a 10 V, un controlador lógico programable facilita la adquisición y manipulación de datos sin la pérdida de estos al manipular en programación gracias a su robustez y altas prestaciones.

El PLC Siemens S7-1200 del modelo 1214 AC/DC/Rly figura 2-2, posee las características necesarias para el conexionado de equipos, además su interfaz de programación es amigable con el usuario.

Posee un grado de protección IP20, el mismo que lo preserva contra el polvo, pero en condiciones aún más rigurosas como son humedades prominentes y temperaturas elevadas, este PLC no puede operar de manera óptima.



**Figura 2-2:** PLC S7-1200 1214AC/DC/RLY

**Fuente:** (SIEMENS, 2007)

A continuación, se muestran las principales características del PLC S7-1200 1214AC/DC/RLY:

- Tiene una dimensión de 110x10x75 mm.
- Pesa 455 g.
- Posee un total 16 entradas de las cuales dos son analógicas.
- El número de salidas son 10 de relé.
- Posee un puerto de interfaz PROFINET.
- Versión de firmware 4.1 programable con TIA Portal V14 o superior.
- Voltaje de alimentación de 85 a 264 V AC.
- Frecuencia de 47 a 63 Hz.
- Memoria disponible de 4 Mb.
- Voltaje de entrada para operación 24V.
- Temperatura durante la operación -20 a 60 °C.

#### **2.4.2 Módulo de entradas analógicas**

Esta cámara de pruebas realiza la adquisición de datos de varios sensores, los cuales envían señales analógicas al controlador. El PLC antes mencionado no satisface esta necesidad, dado que solo posee dos entradas analógicas, por tal motivo se requiere del uso de un módulo de expansión de entradas analógicas.

Para este sistema de diagnóstico se tiene un total de 6 señales analógicas, es necesario ampliar las entradas analógicas del PLC seleccionado con un módulo 231-4HD30-0XB0 figura 3-2, el cual posee un total de 4 entradas analógicas programables.



**Figura 3-2:** Módulo 231-4HD30-0XB0

Fuente: (SIEMENS, 2018)

Principales características del módulo 231-4HD30-0XB0:

- Voltaje de alimentación de 24 V DC.
- Cuatro entradas analógicas de corriente o voltaje.
- Voltaje máximo permisible para una entrada en modo voltaje 35 V.
- Corriente máxima permisible para una entrada en modo corriente 40 mA.
- Pesa 180 g.
- Dimensiones 45x100x75 mm.
- Temperatura ambiental de -40 a 70 °C.
- 13 Bits

### **2.4.3 Maestro IO-Link**

El maestro IO-link AL1110 de IFM figura 4-2, facilita la conexión de distintos dispositivos sean estos actuadores o sensores. El PLC Siemens posee una interfaz PROFINET la cual establecerá comunicación con la interfaz del maestro IO-Link, por lo cual se escogió dicho modelo. Posee un total de 4 entradas que suple la necesidad de los sensores IO-Link.



**Figura 4-2:** Maestro IO-Link AL1110

**Fuente:** (IFM, 2017a)

Principales características del maestro IO-Link AL1110:

- Voltaje de operación 20 a 30 V DC.
- Corriente total para todos los Puertos Clase A 3600 mA.
- Cuatro puertos IO-Link.
- Interfaz PROFINET RT Clase B.
- Protección contra corto circuitos.
- Dos puertos de interfaz PROFINET.
- Temperatura ambiente de -25 a 60 °C.
- Pesa 265g.
- Dimensiones 152x59.3x26 mm.

#### **2.4.4 Sensores**

El sistema de diagnóstico de sensores está desarrollado con el fin de evaluarlos, ya sean estos inteligentes o convencionales, en ambientes agresivos como humedad, polvo y temperaturas altas.

En la actualidad está siendo tendencia la nombrada revolución industrial, conocida como industria 4.0, el propósito de esta “revolución” es conectar todos los equipos entre si y tener un fácil acceso a ellos mediante el uso del internet.

IO-Link es un estándar que cumple las características necesarias para la industria 4.0, su fácil acceso y programación proporciona un acceso sencillo a los datos. La confiabilidad en los datos será puesta a prueba, así como también su robustez.

#### 2.4.4.1 Sensor IO-Link RTD

El sensor TA2447 figura 5-2, tiene la ventaja que no necesita ningún tipo de acondicionamiento previo, la salida que proporciona ya da el valor de la magnitud medida en este caso la temperatura en grados centígrados.



**Figura 5-2:** IO-Link RTD TA2447

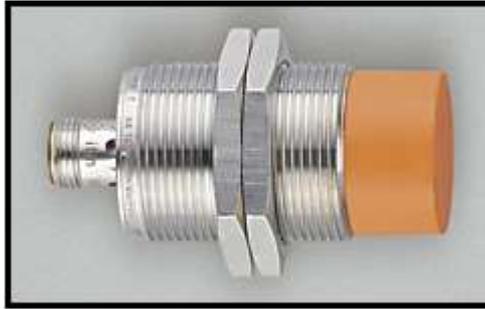
Fuente: (IFM, 2017b)

Principales características del sensor TA2447:

- Longitud de instalación de 150 mm.
- Salida analógica de 4 a 20 mA.
- Rango de medición de -50 a 150 °C.
- Se aplica en fluidos líquidos y gaseosos soportando una presión de hasta 160 bar.
- Tensión de alimentación de 18 a 32 V DC.
- Consumo mínimo de 50 mA.
- Velocidad de transmisión 32.4 kBaud del tipo COM 2.
- Grado de protección IP67/IP68/IP69K

#### 2.4.4.2 Sensor IO-Link Inductivo

El sensor II5974 figura 6-2, los sensores inductivos inteligentes generan una señal en función al campo magnético de materiales metálicos detectados, los sensores inductivos son los más utilizados en la industria, por lo cual se optó para realizar pruebas en este sensor.



**Figura 6-2:** Sensor IO-Link Inductivo

Fuente: (IFM, 2016)

Principales características del sensor IO-Link inductivo:

- Rango de medida de 2.3 a 23 mm.
- Diseño eléctrico PNP o NPN.
- Voltaje de operación de 10 a 30 V DC.
- Temperatura ambiente de -40 a 85 °C.
- Grados de Protección IP67/IP68/IP69K.
- Programable para dos distancias distintas.

#### 2.4.4.3 Sensor IO-Link Réflex

El sensor O6P309 figura 7-2, es un sensor reflectivo que tiene una salida de un byte, la característica especial de este sensor es que posee el emisor y receptor en una sola carcasa que funciona en conjunto con un panel tipo nido de abeja.



**Figura 7-2:** Sensor IO-Link Réflex

Fuente: (IFM, 2018)

Características principales del sensor IO-Link reflectivo:

- Carcasa robusta de acero inoxidable.
- Diseño eléctrico PNP.

- Voltaje de operación de 10 a 30 VDC.
- Corriente de consumo 12 mA.
- Salida seleccionable entre light-on/dark-on mode.
- Alcance del haz de luz de 0 a 5 m.
- Temperatura ambiente de -25 a 80 °C.
- Grados de protección IP65/IP67/IP68/IP69K

#### 2.4.4.4 Sensor RTD

Se optó por este sensor para analizar su robustez y confiabilidad de envío de datos en ambientes agresivos, se observa el sensor en la figura 8-2.



**Figura 8-2:** Sensor RTD

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Principales características del sensor RTD:

- Mínimo valor medido -50 °C.
- Máximo valor medido 200 °C.
- Señal de salida en ohm.
- Longitud de la sonda 100 mm.
- Diámetro de la sonda 3 mm.
- Número de cables 3 de Clase B.
- Sonda de acero inoxidable.
- Aislamiento del cable silicone.

#### 2.4.4.5 Acondicionador RTD

Para el sensor anterior es necesario un acondicionador de señal que transforme la señal de salida del RTD (Ohm) en voltaje. El acondicionador DAT2065 figura 9-2., permite la conversión de estas magnitudes.



**Figura 9-2:** Acondicionador DAT2065

Fuente: (DATEXEL, 2000)

Principales características del acondicionador:

- Salida para RTD tipo PT100.
- Unidad de medida configurable en °C o °F.
- Valores de Zero y Spam configurables por dipswitch.
- Salida de corriente 4 a 20 mA.
- Tiempo de respuesta 300 ms.
- Calibración de error de  $\pm 0.1\%$ .
- Temperatura de operación de -20 a 70 °C.
- Peso 80 g.
- Entradas de sensor de 2 o 3 hilos.

#### 2.4.4.6 *Sensor Inductivo*

El sensor II7105 inductivo figura 10-2, tiene una salida digital, se optó por este sensor para probar su confiabilidad y robustez en entornos adversos.



**Figura 10-2:** Sensor Inductivo

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Principales características del sensor inductivo:

- Robusto con una carcasa de metal para entornos industriales exigentes.
- Indicador led legible para conmutación.
- Alto grado de protección para entornos industriales agresivos.
- Tensión de alimentación de 15 a 30 VDC.
- Tipo PNP.
- Consumo de corriente menor a 15 mA.
- Alcance de 15 mm.
- Factor de corrección para metales como: acero 1, acero inoxidable 0.6, latón 0.4, aluminio 0.4 y cobre 0.3
- IP 67
- Temperatura ambiente de -25 a 70 °C.
- Peso 169.2 g.

#### 2.4.4.7 Sensor Réflex

El sensor O6P203 reflectivo figura 11-2, optamos por este equipo por su diseño compacto para aplicaciones con un espacio reducido, así como también está constituido por el emisor y receptor en una sola carcasa.



**Figura 11-2:** Sensor O6P203

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Principales características del sensor O6P203:

- Fácil selección de modo luz y oscuridad.
- Ajuste intuitivo de la sensibilidad por medio del potenciómetro.
- Tensión de alimentación de 10 a 30 VDC.
- Señal de salida digital.
- Haz de luz de color roja.

- Alcance con respecto al reflector nido de abeja de 0 a 5 m.
- Temperatura ambiente de -25 a 60 °C.
- Grados de protección IP65/IP67
- Diseño eléctrico PNP.
- Dimensiones 46x13x21 mm.

#### 2.4.4.8 Sensor de humedad y temperatura

El sensor de humedad y temperatura figura 12-2, dado que las magnitudes que se desean medir en la cámara son temperatura y humedad, se optó por elegir un sensor que permita evaluar estas dos condiciones.



**Figura 12-2:** Sensor humedad y temperatura

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Principales características del sensor:

- Salida para humedad de 4 a 20 mA dos hilos.
- Salida para temperatura de 4 a 20 mA dos hilos.
- Voltaje de alimentación de 10 a 30 VDC.
- Rango de temperatura de -40 a 120 °C
- Rango para humedad de 0 a 100% HR.
- Margen de error de humedad medida  $\pm 3\%$
- Margen de error de temperatura medida  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ .

#### 2.4.5 *Diseño mecánico para un sistema de diagnóstico de sensores*

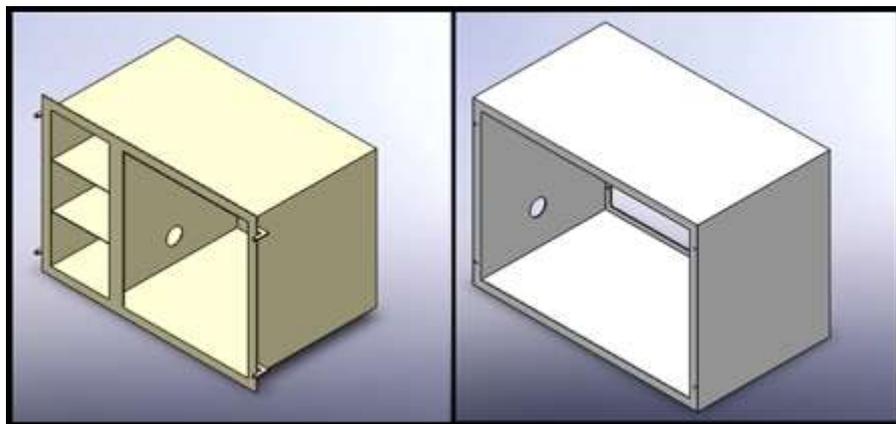
La cámara de pruebas debe contar con un espacio adecuado al realizar las pruebas pertinentes en su interior y asegurar que todos los sensores tengan las mismas condiciones. De igual manera, deberá prestar seguridad al operador, confiabilidad en la adquisición de datos, y un fácil acceso a los mismos.

Su hermetismo proporciona una estabilidad continua de tal forma que el manejo de las condiciones en su interior es sencillo de controlar, como es la temperatura, la humedad y la presencia de polvo.

Para poner a prueba la robustez en los sensores es necesario simular estas tres condiciones en casos extremos. En primer lugar, la temperatura simulada, que oscila entre la temperatura ambiente y 80 grados centígrados, debe mantener un valor seteado por el operador. Para el caso de la humedad, al igual que de la temperatura el usuario ingresará un valor al cual dicha estación deberá llegar. Por último, la estación del polvo enviará partículas al interior de la cámara, que en conjunto con la temperatura y humedad generan diversas condiciones agresivas industriales.

##### 2.4.5.1 *Diseño para la estación de temperatura*

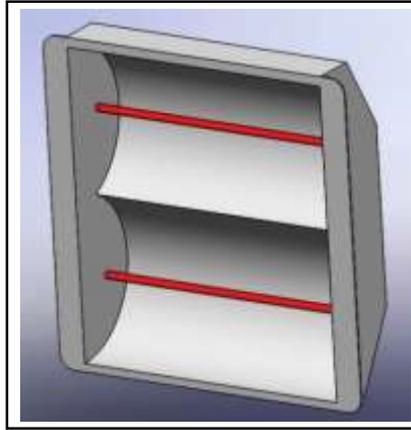
La temperatura no debe transmitir al exterior el calor generado en el interior, el diseño de la cámara debe constar con el asilamiento adecuado para evitar dicho caso, por tal motivo se optó el diseño de una doble pared, que separa a las condiciones internas. El aislante a utilizar es una fibra mineral conformada por filamentos de vidrio, a continuación, se muestra en la figura 13-2 el diseño de la cámara con su doble pared.



**Figura 13-2:** Estructura externa de la cámara

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

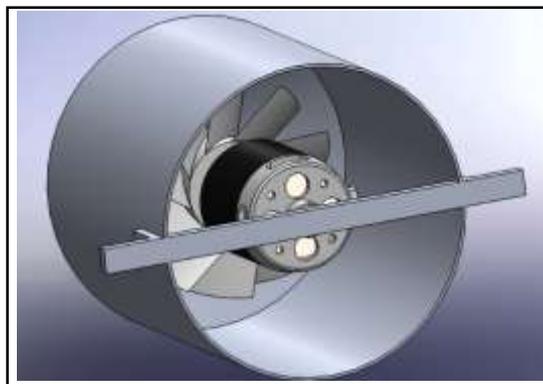
En esta estación la temperatura variara mediante el uso de un par de resistencias térmicas, las cuales van en el interior de la cámara para elevar dicha magnitud a valores específicos ingresados por el operador. Anteriormente se puso a prueba diversos diseños que no suplieron con la necesidad de elevar con rapidez la temperatura en el interior, por lo cual el diseño quedo de la siguiente forma, figura 14-2.



**Figura 14-2:** Resistencia térmica para aumentar la temperatura

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Para disminuir la temperatura, un extractor de aire modificado expulsa el aire que está en el interior de la cámara hacia el exterior, fue necesario cambiar la hélice de su motor porque dicha hélice de plástico al estar al contacto con una temperatura muy alta tiende a cambiar sus propiedades por ende se aislara del eje del motor, figura 15-2.

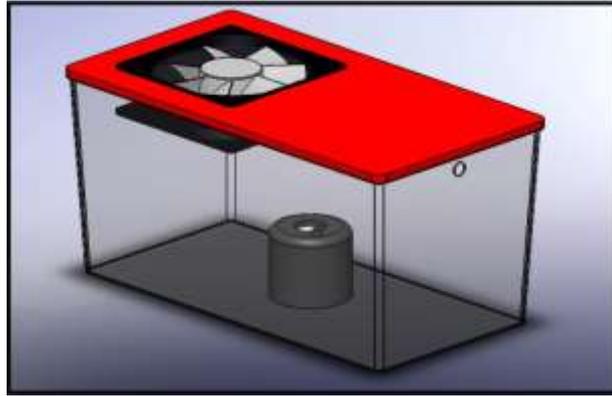


**Figura 15-2:** Extractor de aire

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

#### 2.4.5.2 *Diseño para la estación de humedad*

En esta estación se implementó el uso de un nebulizador ultrasónico, con la finalidad de generar humedad. El nebulizador se sumerge en el agua y genera de esta forma dicha humedad, con el uso de un ventilador y tuberías expulsamos la humedad que se encuentra dentro de esta estación al interior de la cámara de pruebas, figura 16-2.

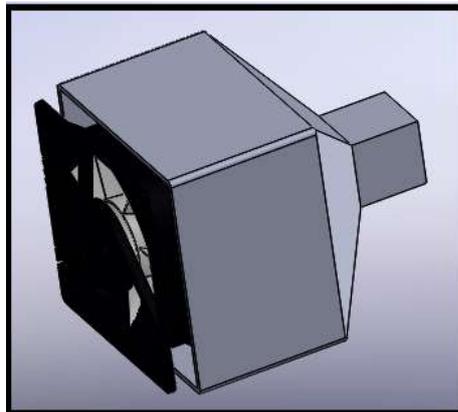


**Figura 16-2:** Estación de humedad

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

#### 2.4.5.3 *Diseño para la estación de polvo*

En esta estación mediante el uso de un ventilador y una reducción, se logra introducir las partículas del polvo al interior del sistema de pruebas, figura 17-2.

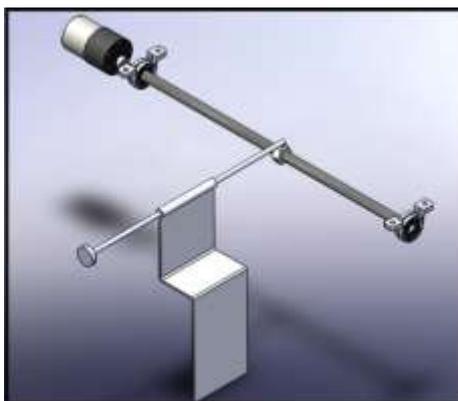


**Figura 17-2:** Estación de polvo

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

#### 2.4.5.4 *Diseño mecánico de una placa móvil*

Por la necesidad de realizar pruebas a distintas distancias, se diseñó un sistema mecánico que consta de un tornillo sin fin, chumaceras, motor y la placa metálica móvil. El fin de este sistema es cumplir la medición tanto para los sensores reflectivos como para los sensores inductivos, para la medición de datos en los sensores reflectivos se hace el uso de un panel tipo nido de abeja, el cual va sujeto a la placa metálica. Los datos se los toma a distintas distancias gracias a la ayuda del motor, dado que este genera el movimiento del tornillo sin fin, figura 18-2.

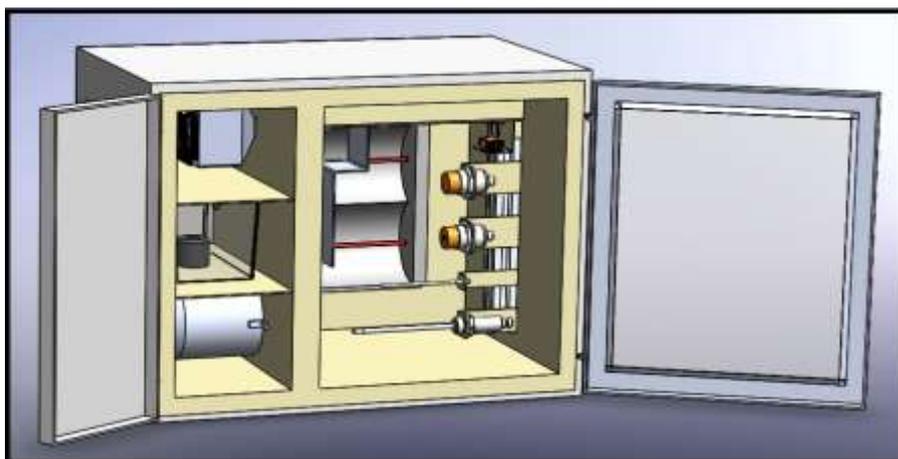


**Figura 18-2:** Diseño mecánico de una placa móvil

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

#### **2.4.6 Montaje de componentes**

Una vez diseñadas las estaciones, se procede a montar los distintos dispositivos que se van a usar en el sistema de diagnóstico para sensores, figura 19-2.



**Figura 19-2:** Montaje de los elementos en la cámara

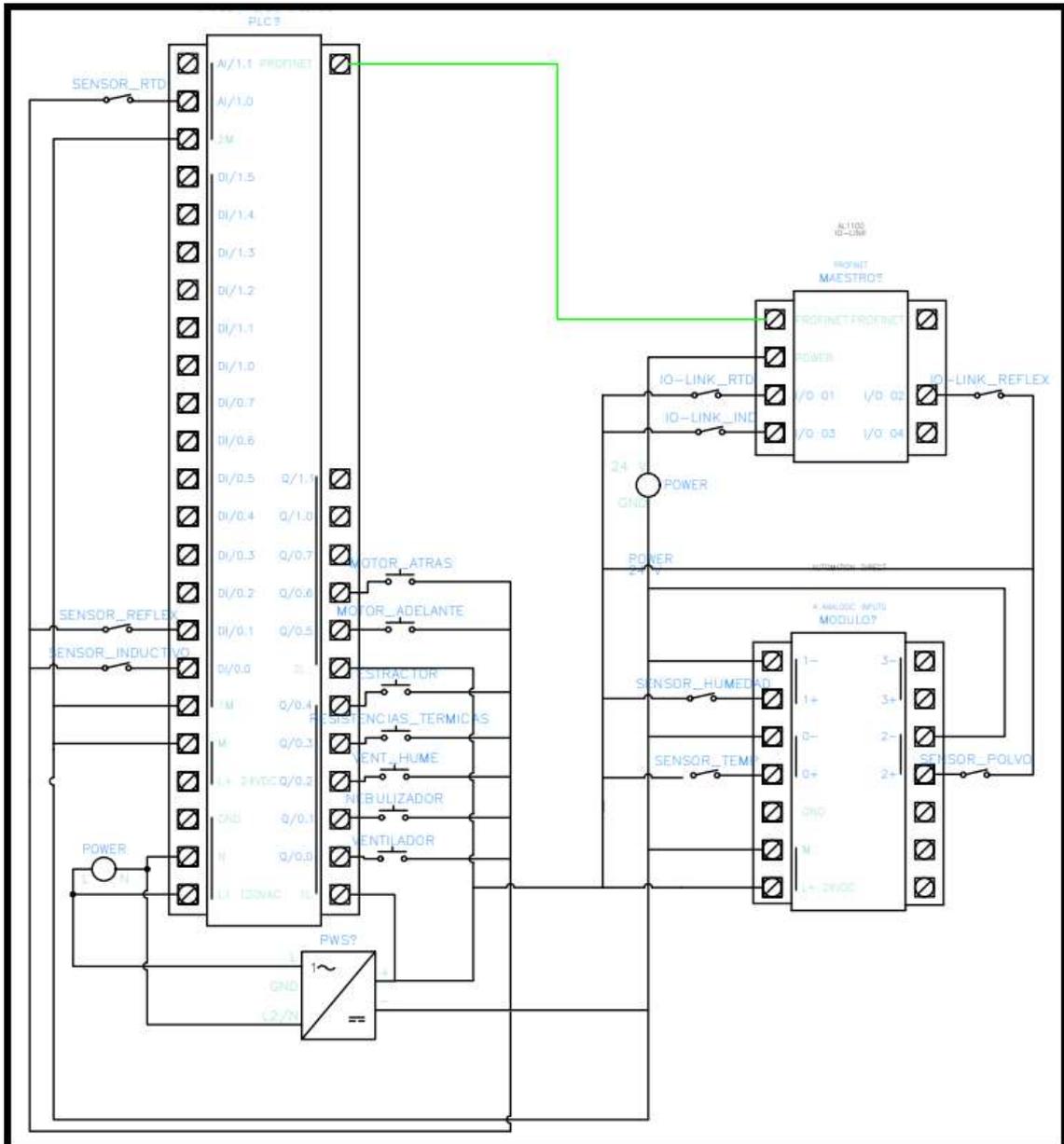
**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

#### **2.4.7 Esquema de conexión**

El esquema eléctrico se lo realiza al estar todos los equipos conectados entre sí, primeramente se conecta los sensores IO-Link al maestro mediante una conexión punto a punto. Se debe tomar en cuenta que el maestro IO-Link trabaja con 24V de alimentación para suministrar la energía necesaria a cada uno de los puertos. El maestro IO-Link está conectada al PLC mediante una interfaz PROFINET.

Debido a la falta de entradas analógicas es necesario del uso de un módulo de expansión, los sensores a poner a prueba y los sensores que controlan la cámara se conectan en las entradas analógicas y digitales del PLC, para todas estas conexiones se emplea una fuente de 24 voltios.

En el sistema existen salidas de 24 voltios DC y 110 voltios AC, el voltaje de salida que proporciona el PLC es de 24 voltios DC, siendo este insuficiente para activar algunos componentes en el sistema, para solucionar este inconveniente es indispensable el uso de relés, figura 20-2.

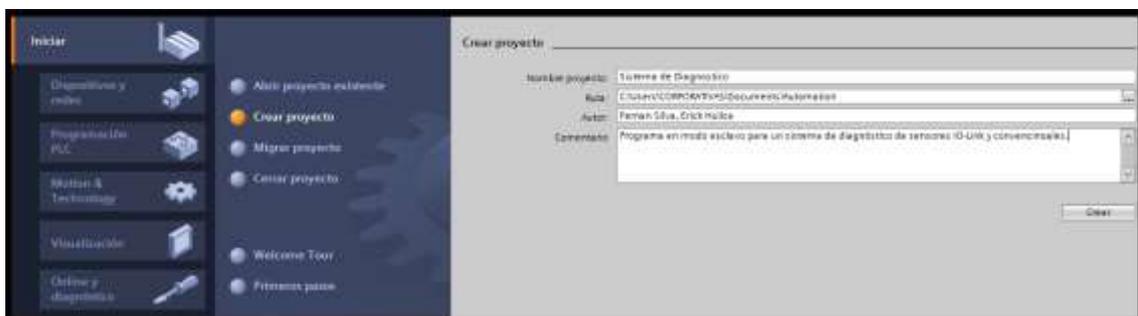


**Figura 20-2:** Esquema eléctrico

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

## 2.4.8 Programación del PLC

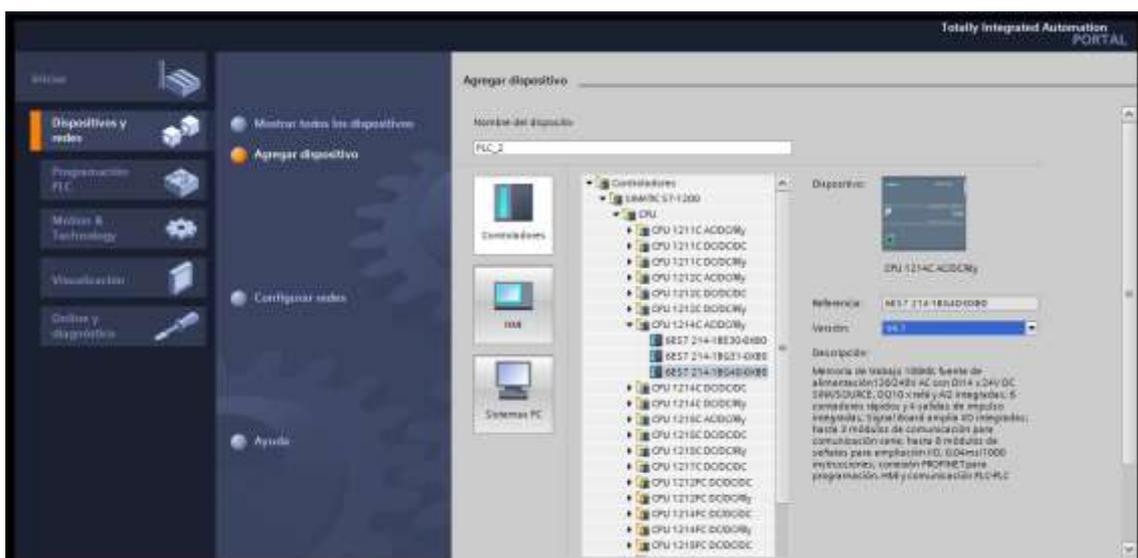
El controlador lógico programable funciona de servidor para la interfaz de operador, desde esta interfaz se manipulan todas las variables que el PLC lee en conjunto con el maestro IO-Link. LabView facilita herramientas virtuales de mando y control, por lo cual se optó el diseño de una interfaz a partir de este software. Tomando en cuenta las circunstancias antes mencionadas, la programación empieza por el controlador lógico programable. El software varía dependiendo de la versión del PLC, para el controlador S7-1200\_214-1BG40-0XB0 es el Totally Integrated Automation PORTAL V14 sp1/sp2 de SIEMENS. Se procede a abrir el software de programación, luego crear un nuevo proyecto en el cual este especifica el nombre, el autor y la carpeta en la cual el programa quedará guardado.



**Figura 21-2:** Creación de un nuevo proyecto en TIA PORTAL v14.

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

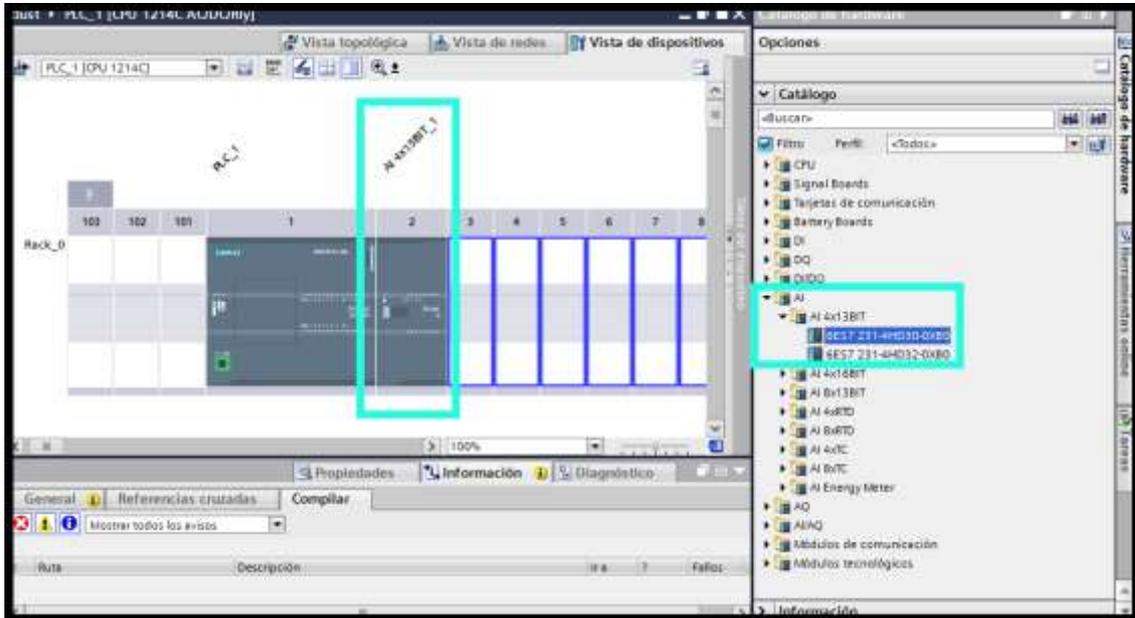
En la lista de dispositivos y redes, presionar en “Agregar dispositivo” y encontrar el controlador s7-1200 AC/DC/Rly 1BG40 0XB0, la versión esta predeterminada por el fabricante, en este caso la versión de Firmware es V4.1.



**Figura 22-2:** Selección del equipo a programar

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

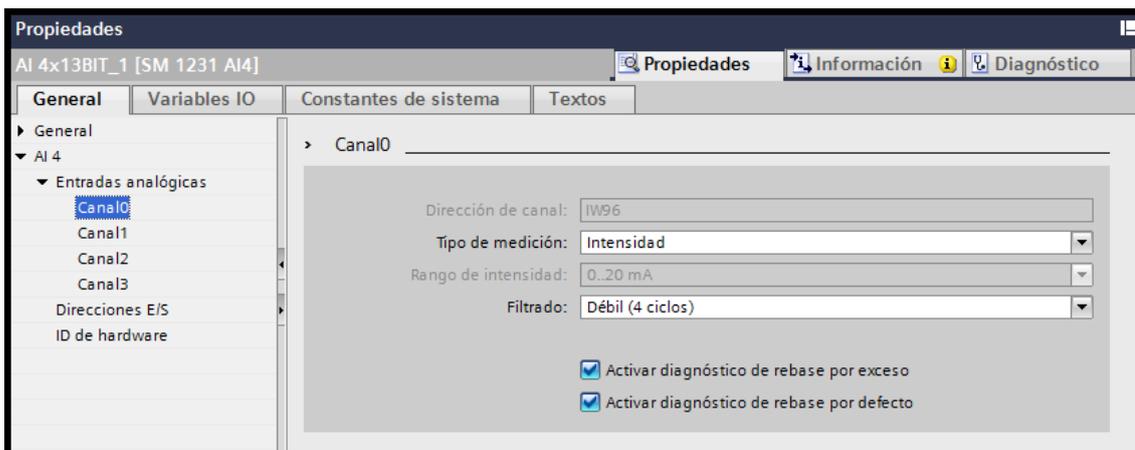
Las dos entradas analógicas que posee el PLC son insuficientes, por lo cual es imprescindible el uso de un módulo de expansión analógico, este módulo consta de 4 entradas análogas configurables entre corriente y voltaje. Se busca el nombre del módulo 231-4HD30-0XB0 en el catálogo de la parte derecha en la interface de programación.



**Figura 23-2:** Acople del módulo de ampliación con el PLC

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

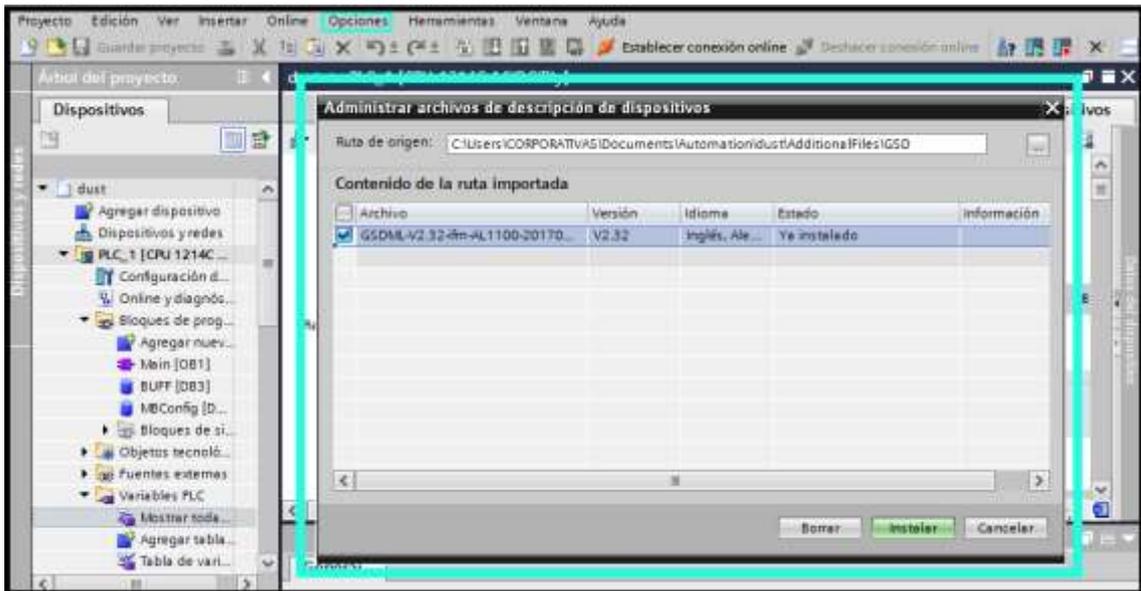
Los canales parametrizables del módulo son el 0 y 2, ordenando la configuración del canal consiguiente, por ejemplo, en la Figura 24-2 si se configura el canal 0 con tensión, automáticamente el canal 1 se pondrá en modo tensión, y si el canal 2 se configura en modo intensidad, el canal 3 de igual forma se pondrá en intensidad.



**Figura 24-2:** Parametrización de Canales

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

El maestro IO-Link posee una interfaz PROFINET al igual que el controlador lógico, facilitando la comunicación de estos dos equipos, pero el software de programación del PLC no lo reconocerá a no ser que se instale el controlador del equipo IO-Link en la librería de TIA PORTAL v14. Este controlador se lo encuentra en la página del fabricante del producto, la descarga es gratuita y no necesita de ningún registro previo. En las opciones del software de programación, seleccionar la pestaña “Administrar archivos de descripción de dispositivos”, y luego buscar el archivo descargado en el computador eh instalarlo.



**Figura 25-2:** Instalación del Maestro IO-Link en TIA PORTAL v14

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

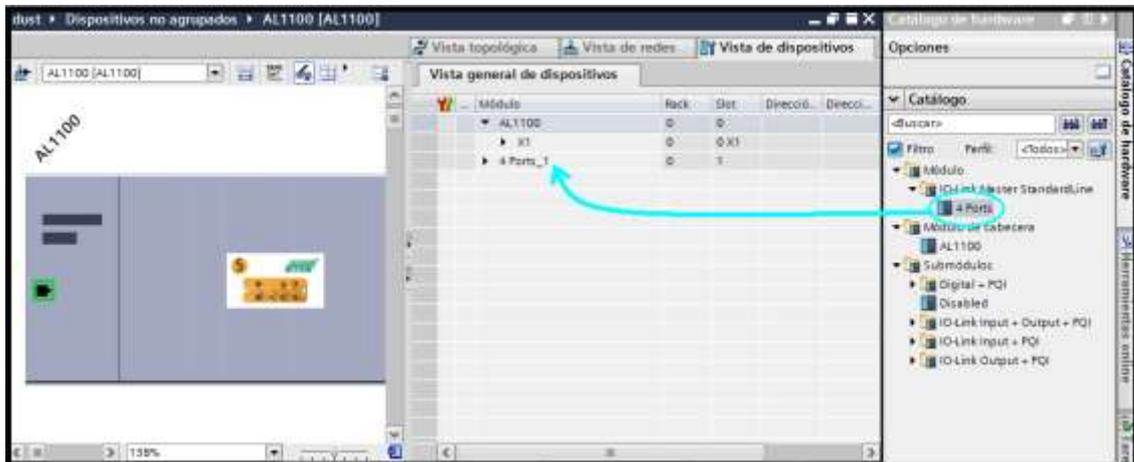
La librería instalada del maestro se encuentra en el catálogo de hardware en el software de programación, siguiendo la ruta “Otros dispositivos de campo/ PROFINET IO/ IO/ ifm Electronics/ ifm Electronics/ AL1100”. Abrir los Dispositivos y Redes, eh insertarlo para luego enlazar mediante una comunicación Profinet el controlador lógico y el Maestro IO-Link.



**Figura 26-2:** Comunicación PROFINET entre PLC y Maestro IO-Link

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

La parametrización del maestro se la hace entrando en las propiedades del mismo, primeramente, se especifica el número de puertos que posee, el AL1100 posee 4 puertos configurables entre IO-Link Ports o Digital Input Ports. Seleccionar los 4 puertos y arrastrar a la configuración del maestro en las Propiedades del mismo, en la configuración de los puertos se creará por defecto un “IO-Link Master”.



**Figura 27-2:** Configuración del maestro IO-Link

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

El sistema de diagnóstico evaluará tanto sensores convencionales como IO-Link, por ende, para cada sensor IO-Link se configura un puerto del maestro. Esta parametrización de puertos se realiza al añadir submódulos que se encuentran en el catálogo de hardware del TIA PORTAL v14. Dependiendo de la aplicación, existen distintos tipos de datos entre los cuales se puede seleccionar: “Digital Input + PQI”, “Digital Output + PQI”, “IO-Link In/Out”, “IO-Link In”, o “Disable” si no se conecta ningún sensor en ese puerto. En este caso se añaden 3 puertos IO-Link y un puerto en “Disable”.

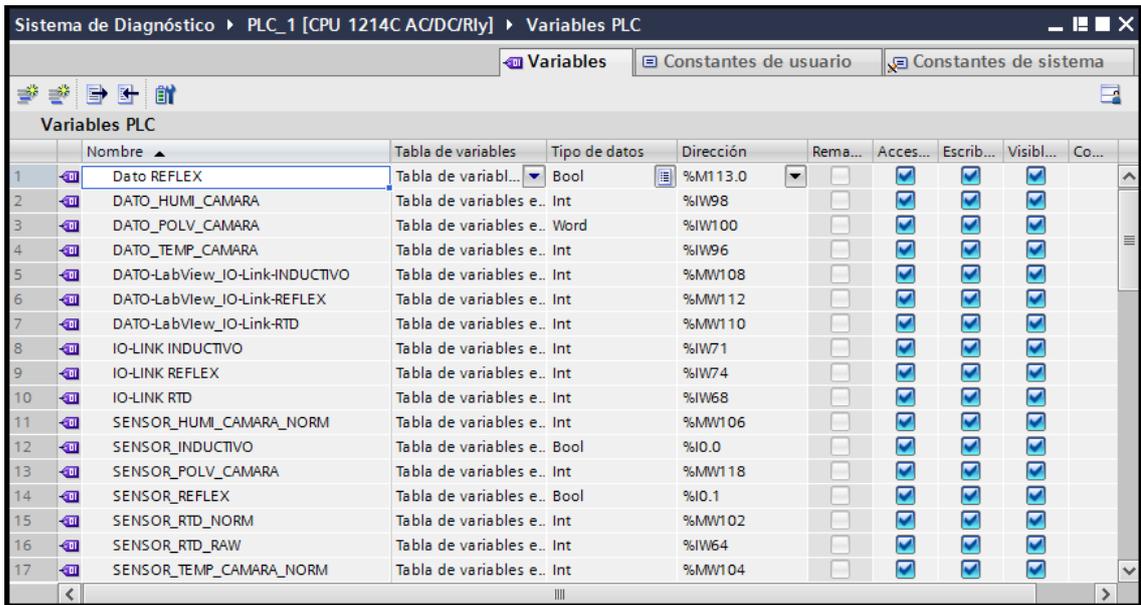


**Figura 28-2:** Asignación de puertos en el maestro IO-Link

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En el bloque de programación, se insertan las direcciones de las entradas del PLC en las cuales los sensores están conectados. Por otro lado, los sensores IO-Link poseen direcciones predeterminadas que el controlador las lee por medio de la comunicación PROFINET con el

Maestro, se asigna un nombre a cada memoria, por ejemplo, la memoria %IO.0 para el sensor reflectivo convencional.



**Figura 29-2:** Direccionamiento de memorias de entrada y salida en el PLC

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

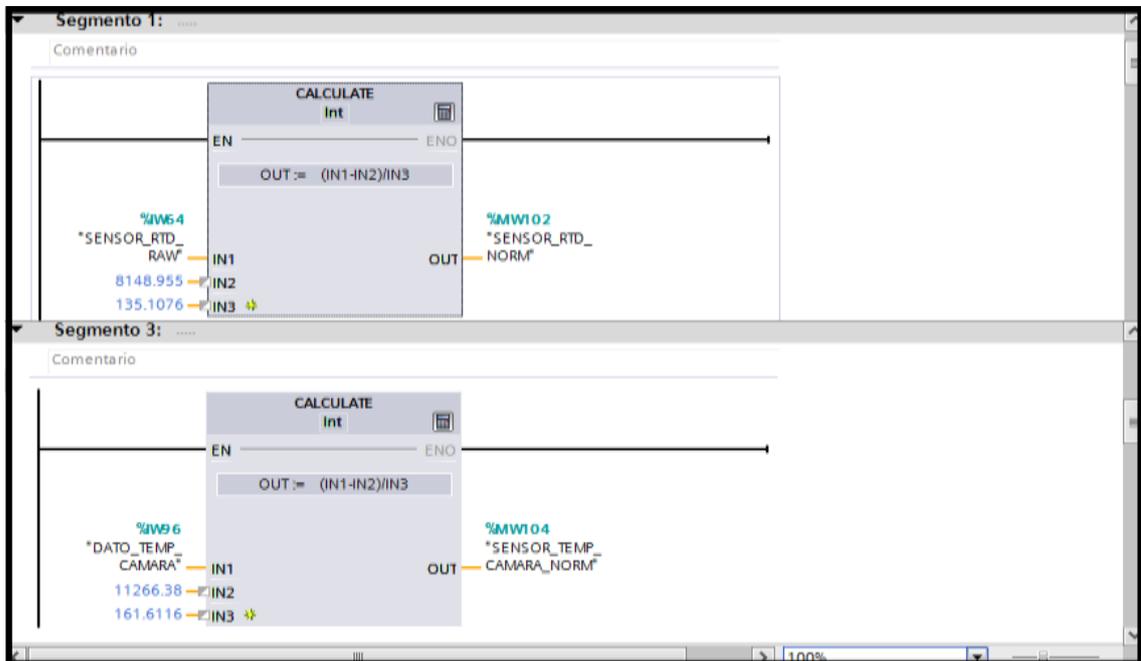
Las lecturas del controlador lógico, son señales analógicas provenientes de los sensores, no siempre un sensor dará el valor real de medida, por lo general este comprende un dato de entre 0 a 27648, debido a que la entrada analógica en el PLC tiene un rango de 0-10 V que se debe condicionar o normalizar a una magnitud aproximada real. El tamaño del dato es de dieciséis bits, teniendo un total 32767 áreas individuales, este valor no se puede utilizar al momento de normalizar, porque puede existir un rebase o sobrecarga, SIEMENS estandariza los 27648 en 10 voltios para evitar este problema y corregir posteriores fallos. Se empieza parametrizando los sensores de temperatura, este posee un acondicionador de señal que transforma la resistencia variante que proporciona en una corriente de 4 a 20mA. El sensor de temperatura de la cámara como el sensor a evaluar, están condicionados al sensor más preciso que es el RTD IO-Link. Los 3 sensores deben estar en las mismas condiciones de análisis, para parametrizarlos se utiliza la ecuación de la recta, esta toma dos puntos como referencia y a partir de su pendiente se encuentra la ecuación que manda a la misma.

**Tabla 1-2:** Relación de datos entre los sensores de temperatura.

	IO-Link RTD	RTD Normal	Sensor Temp. de la cámara
<b>P. Inicial</b>	19°C	10716	14337
<b>P. Final</b>	70°C	17620	22660

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

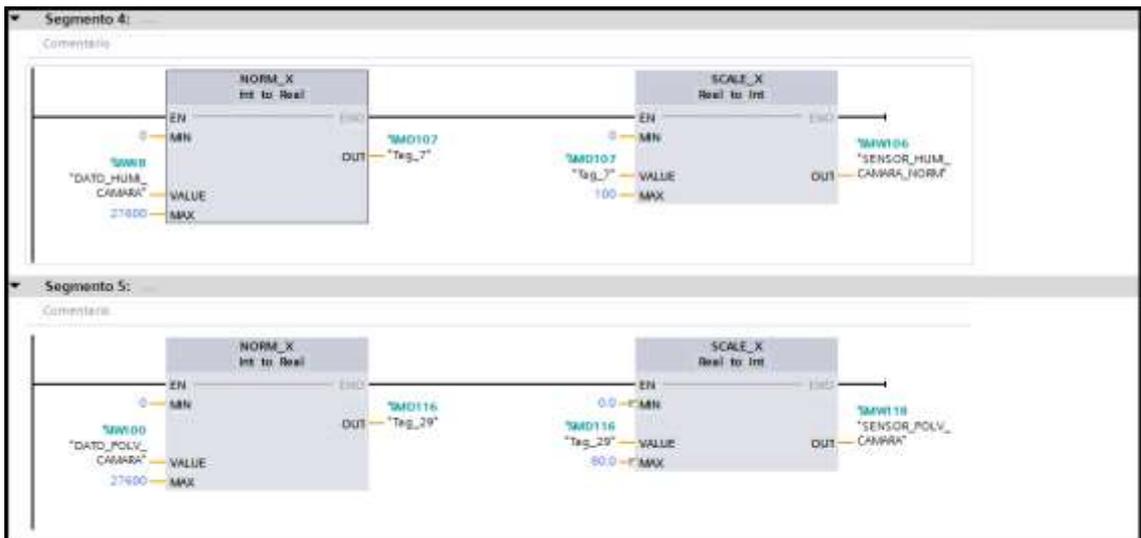
El bloque “CALCULATE” de la Figura 30-2 y Figura 31-2 permite ingresar una ecuación y a partir de esta generar los valores aproximados de la temperatura en función del sensor IO-Link RTD.



**Figura 30-2:** Calculo de temperatura con la ecuación de la recta

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Para los sensores de humedad y polvo, se utilizan los bloques “NORM\_X” y “SCALE\_X”, estos permiten leer la señal analógica del sensor y la transforma en una escala real aproximada, en el caso del sensor de humedad, la relación de transformación es de 0 a 100% de humedad relativa, mientras que en el sensor del polvo la relación de transformación es de 0 a 0,8 mg/m<sup>3</sup>.



**Figura 31-2:** Normalización y escalamiento de señales analógicas

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

### 2.4.8.1 Configuración del servidor Modbus

Un bloque de comunicación MODBUS TCP se realiza en conjunto con una conexión PROFINET. En las instrucciones del TIA PORTAL seleccionar Comunicación/ Otros/ Modbus TCP/ MB\_SERVER y se arrastra el bloque a la parte de programación. Esta instrucción recibe y procesa requerimientos de conexión de un cliente MODBUS TCP al igual que envía mensajes de respuesta. En la Tabla 2-2, se detalla los parámetros que se establecen en la instrucción MODBUS:

**Tabla 2-2:** Descripción de la configuración de la instrucción Modbus

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Descripción
DISCONNECT	Input	BOOL	La instrucción “MB_SERVER” establece una conexión pasiva con un módulo interlocutor. El servidor reacciona a una petición de conexión de la dirección IP indicada en el SDT “TCON_IP_v4” en el parámetro CONNECT
MB_HOLD_REG	Input	VARIANT	Este parámetro debe remitir siempre a un área de memoria mayor a dos bytes. El registro de parada contiene los valores a los que está autorizado a acceder un cliente Modbus mediante las funciones Modbus 3 (lectura), 6 (escritura) y 16 (lectura múltiple).
CONNECT	Input	VARIANT	En este bloque se describe el tipo de conexión. Se puede utilizar las siguientes estructuras: - TCON_IP_v4: contiene todos los parámetros necesarios para establecer una conexión programada. De forma estándar es 0.0.0.0 (Cualquier dirección IP), pero también se puede establecer una dirección IP determinada. - TCON_Configured: contiene los parámetros de direccionamiento de una conexión configurada.
NDR	Output	BOOL	0: No hay datos nuevos 1: El cliente Modbus ha escrito datos nuevos
DR	Output	BOOL	0: No se han leído datos. 1: El cliente Modbus ha leído datos
ERROR	Output	BOOL	Cuando se produce un error durante una llamada de la instrucción “MB_SERVER”, la salida del parámetro ERROR se pone en “1”
STATUS	Output	WORD	Información de estado detallada de la instrucción.

Fuente: (SIEMENS, 2017)

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

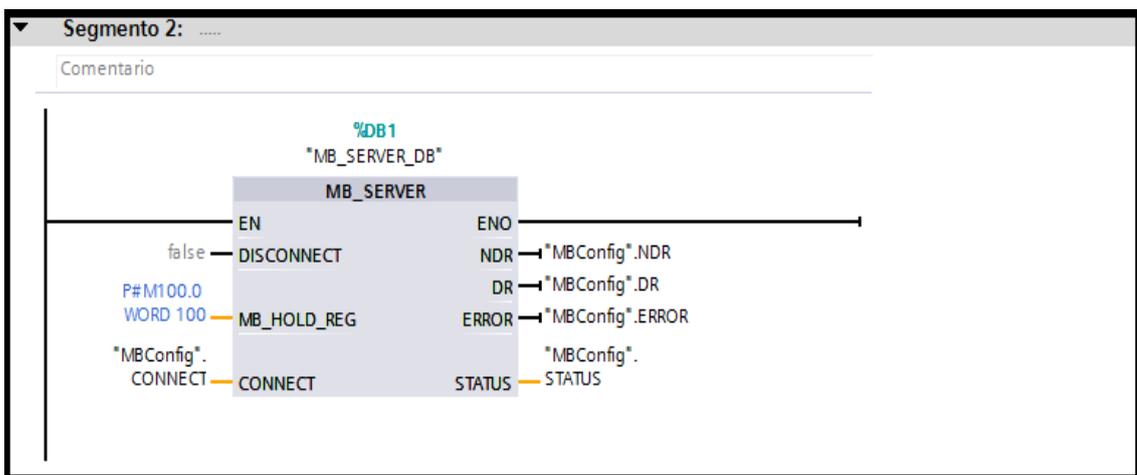
Se añade un bloque de datos “MBConfig” que contiene toda la información de los parámetros que se ingresan en la instrucción Modbus TCP, como CONNECT, NDR, DR, ERROR y STATUS, en la Figura 33-2 se presenta la configuración de cada parámetro. El puerto local 502 es el puerto que utiliza TCP para identificar la conexión del protocolo MODBUS.

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanente	Accesible d.	Escrib.	Visible en	Valor de s.	Comentario
Static								
CONNECT	TCON_IP_v4							
Interaceid	HW_ANY	64						HW identifier of interface submodule
ID	CONN_LOUC	1						connection reference / identifier
ConnectionType	Byte	11						type of connection: 11=TCP/IP, 10=UDP (X=TCP)
ActiveEstablished	Bool	false						active/passive connection establishment
RemoteAddress	IP_v4							remote IP address (IPv4)
ADDR	Array[1..4] of Byte							IPv4 address
ADDR[1]	Byte	192						IPv4 address
ADDR[2]	Byte	168						IPv4 address
ADDR[3]	Byte	1						IPv4 address
ADDR[4]	Byte	10						IPv4 address
RemotePort	UInt	0						remote UDP/TCP port number
LocalPort	UInt	502						local UDP/TCP port number
NDR	Bool	false						
DR	Bool	false						
ERROR	Bool	false						
STATUS	Word	16#0						

**Figura 32-2:** Configuración de Parámetros de la instrucción MODBUS TCP

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Cada parámetro se introduce por separado en la instrucción, que se sitúa en el programa general del controlador, tipiendo en cada espacio el correspondiente dato, por ejemplo, en STATUS el parámetro del bloque de datos a ingresar es “STATUS” como se aprecia en la Figura 33-2. En el parámetro MB\_HOLD\_REG se ingresa un puntero, este puntero es un tipo de dato que se utiliza como dirección en lugar de un valor, se coloca un puntero a la dirección de inicio de la zona de memoria del PLC que va a corresponder con los registros MODBUS TCP 400001 en adelante, en este caso la zona de memoria del s7-1200 que va a corresponder con los registros MODBUS TCP, comienzan en el bit 0 de la memoria 100 destinada a marcas y mediante Word 100 se indica la longitud de dicha zona en este caso se reserva 100 palabras.

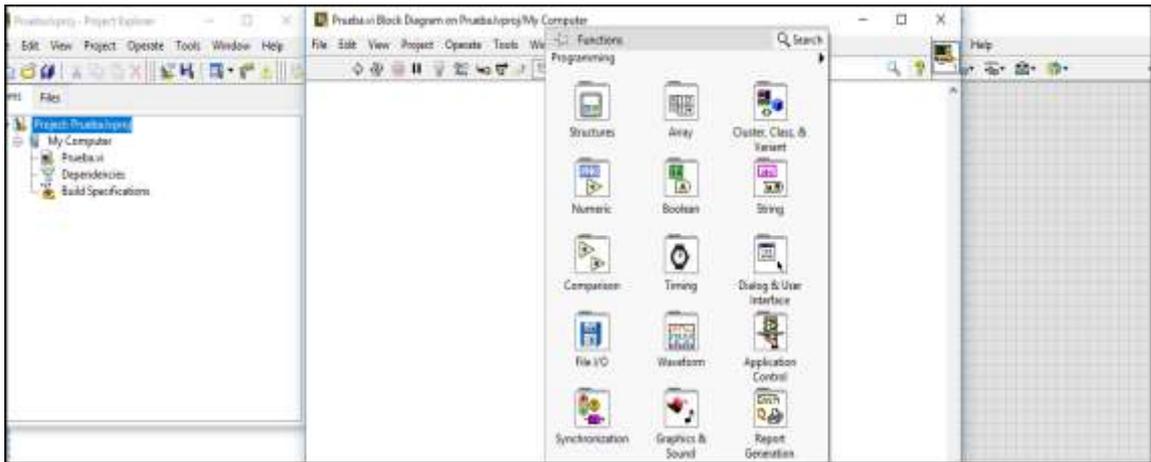


**Figura 33-2:** Instrucción MB\_SERVER parametrizada

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

## 2.4.9 Programación de la interfaz

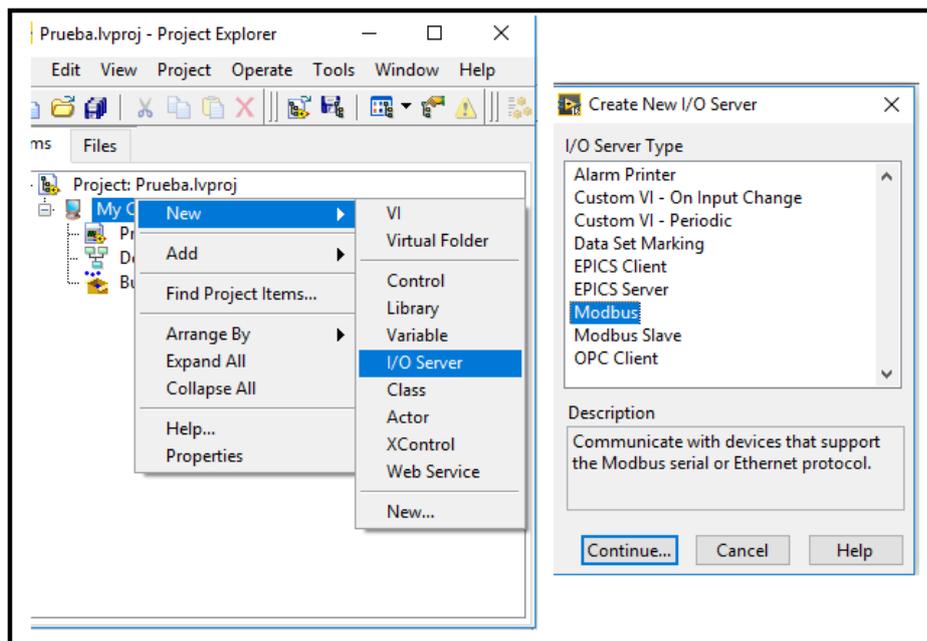
La interfaz es diseñada en LabVIEW mediante una configuración MODBUS TCP, este software permite obtener los datos que lee el PLC. Una vez abierto el programa se crea un nuevo proyecto, además se debe cambiar el nombre del archivo y guardarlo. Luego se procede a crear un nuevo VI dándole un nombre, una vez configurado el VI con su respectivo nombre se puede programar usando todas las herramientas que el software posee.



**Figura 34-2:** Configuración de un nuevo VI

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

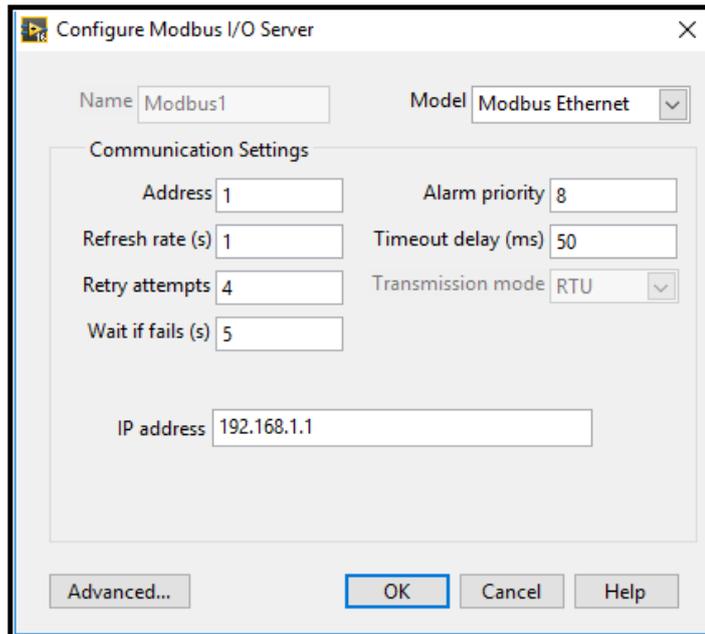
Los datos del PLC se visualizan en LabVIEW al crear una comunicación con el mismo, esa comunicación es a través de MODBUS, para configurar una comunicación MODBUS primero se agrega un nuevo I/O Server, de la lista de servidores seleccionar MODBUS.



**Figura 35-2:** Nuevo Server MODBUS

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

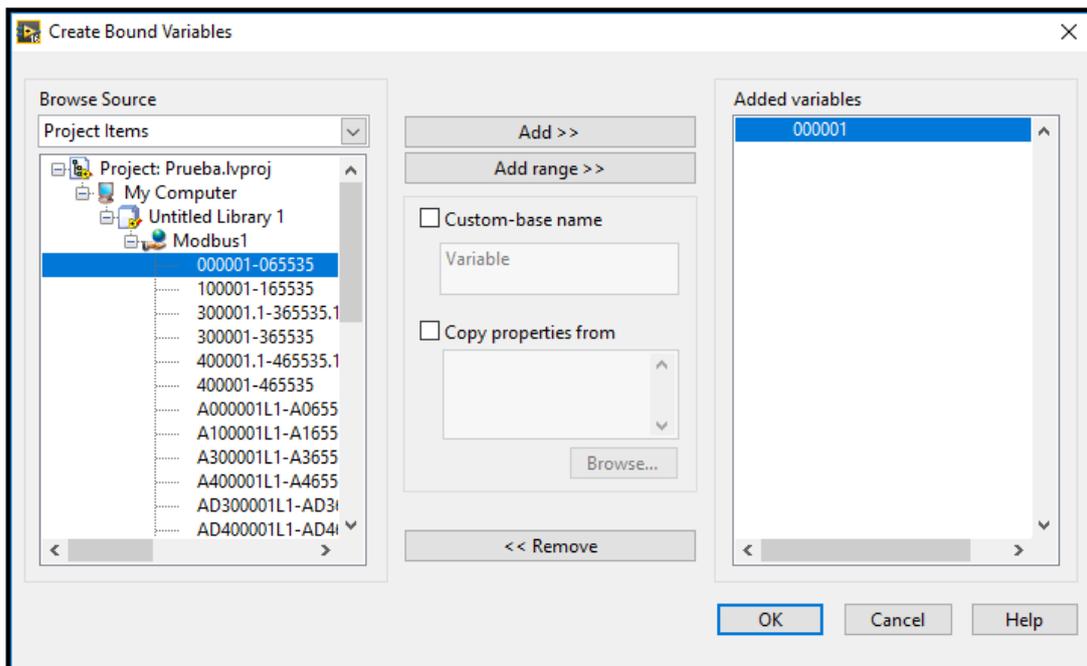
Creado el nuevo Server, se configura todos los parámetros del mismo, el modelo es Ethernet, el tiempo de refresco debe ser el menor posible y la dirección IP debe ser la del PLC.



**Figura 36-2:** Configuración del Server

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

MODBUS/TCP posee direcciones que están asociadas a las entradas, salidas y memorias del PLC, las cuales se deben agregar para obtener acceso a ellas y de esta manera activar una salida directamente desde el software según sea necesario.



**Figura 37-2:** Direccionamiento de MODBUS

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Para obtener la dirección de memoria MODBUS de una determinada marca se debe usar la Ecuación 1-2, tomando en cuenta que siempre son números pares, Tabla 3-2.

**Ecuación 1-2:** Expresión para determinar el direccionamiento MODBUS TCP

$$\text{Dirección Memoria} = \frac{\text{Marca} - 100}{2} + 400001$$

**Tabla 3-2:** Parametrización para el bloque MB\_Server

Marcas	Memoria MODBUS TCP	Identificación de los Bytes
MW100	400001	MB100-MB101
MW102	400002	MB102-MB103
MW104	400003	MB104-MB105
MW106	400004	MB106-MB107
MW108	400005	MB108-MB109
MW110	400006	MB110-MB111

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

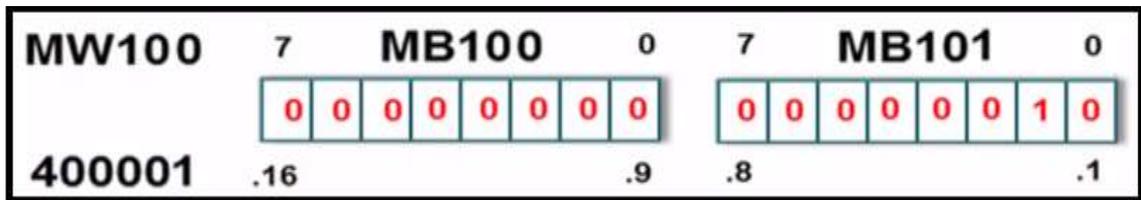
Para cada entrada digital del PLC le corresponde una dirección de bit MODBUS TCP, por lo tanto el PC deberá leer en una determinada dirección de memoria MODBUS para obtener el estado de la entrada digital correspondiente en el PLC, de la misma forma cada salida digital del PLC le corresponde una dirección de bit MODBUS TCP por lo tanto el PC puede leer en una determinada dirección de memoria MODBUS para obtener el estado de la salida correspondiente en el PLC, también puede escribir en una determinada dirección de bit para cambiar el estado de la salida del PLC, como se puede observar en la tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Asignación de memoria MODBUS en PLC

Entradas Digitales	Memoria MODBUS TCP	Salidas Digitales	Memoria MODBUS TCP
I0.0	10001	Q0.0	00001
I0.1	10002	Q0.1	00002
I0.2	10003	Q0.2	00003
I0.3	10004	Q0.3	00004
I0.4	10005	Q0.4	00005
I0.5	10006	Q0.5	00006
I0.6	10007	Q0.6	00007
I0.7	10008	Q0.7	00008
I1.0	10009	Q1.0	00009
I1.1	10010	Q1.1	00010

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

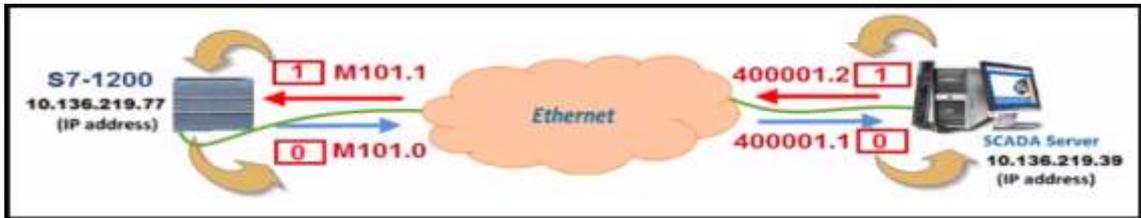
Intercambiar datos mediante los registros se debe saber que la zona de memoria que comienza desde la dirección 400001, corresponde en el PC desde la marca MW100, teniendo en cuenta el orden del bit bajo y el alto como se observa en la figura 38-2.



**Figura 38-2:** Intercambio de datos entre los registros

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Cuando el PC escriba un uno lógico en la posición de memoria 400001.2 en el PLC corresponde la marca M101.1, cuando el PLC se escriba en la marca M101.0 un cero lógico, en el PC se debe leer dicho valor en la posición de memoria de bit 400001.1, figura 39-2.



**Figura 39-2:** Envío de registros a través de ethernet

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

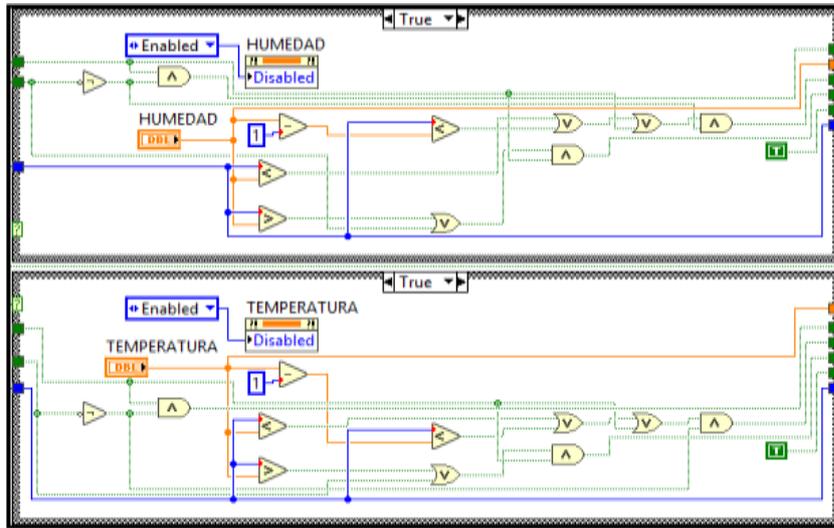
Terminada la configuración del servidor y agregada todas las direcciones MODBUS a usarse, se programa el VI que sirve como interfaz para el usuario.



**Figura 40-2:** Interfaz de usuario

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

El control de la temperatura y humedad se lo realiza con un control por histéresis On/Off, al determinar el valor ingresado por el usuario. LabVIEW envía un comando que el controlador lógico programable ejecuta.



**Figura 41-2:** Control por histéresis On/Off para temperatura y humedad

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

## CAPÍTULO III

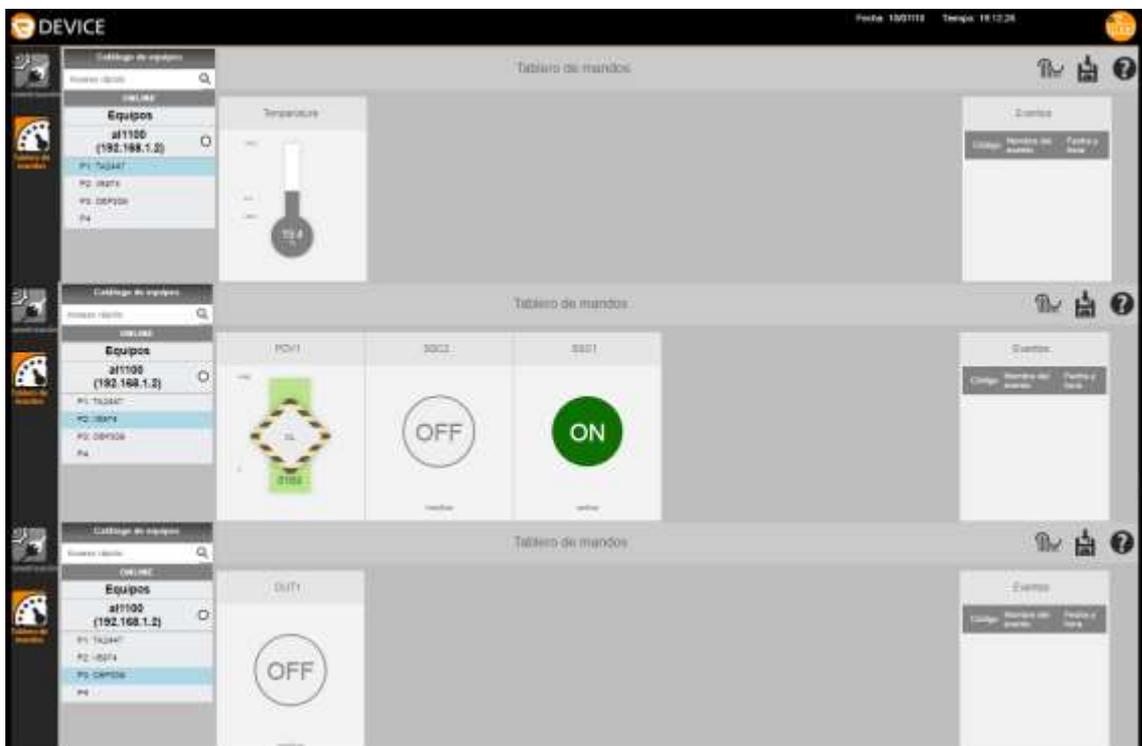
### 3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

#### 3.1 Introducción

Los resultados y las pruebas realizadas en el sistema de diagnóstico de sensores se presentan en este capítulo, con las tres estaciones antes mencionadas (temperatura, humedad y polvo) se tiene siete combinaciones posibles en las cuales se las puede someter a los sensores. Los datos proporcionados por las pruebas sirven para el respectivo análisis estadístico en el cual se contrasta con los valores establecidos por el fabricante.

#### 3.2 Validación de la configuración del sistema

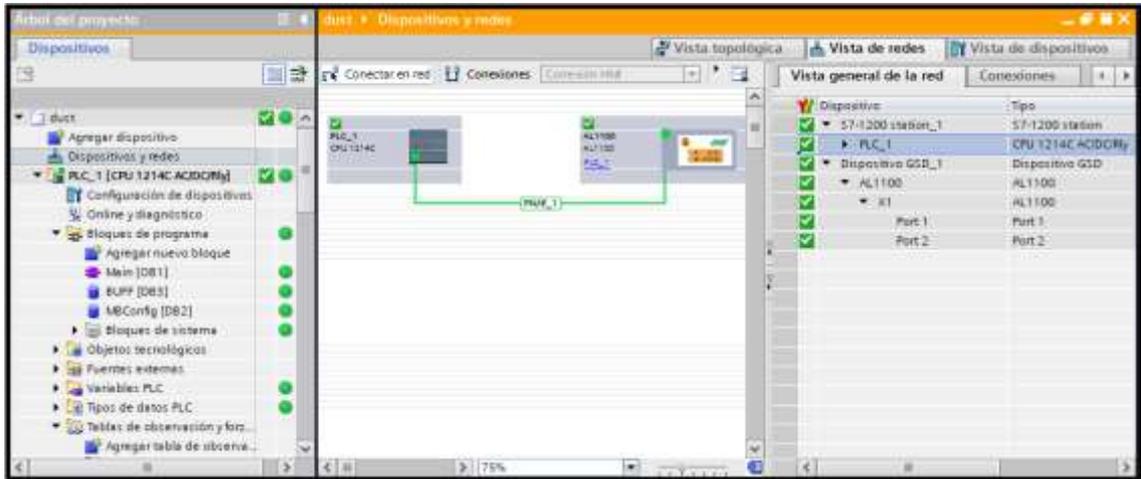
Los equipos en este sistema constan con una conexión en la cual todos interactúan entre sí, el nivel más bajo le pertenece a la comunicación que tienen los sensores inteligentes con el maestro mediante una comunicación punto a punto (IO-Link). Esta comunicación se comprueba con el software de parametrización LR Device.



**Figura 1-3:** Comunicación de sensores con maestro IO-Link

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

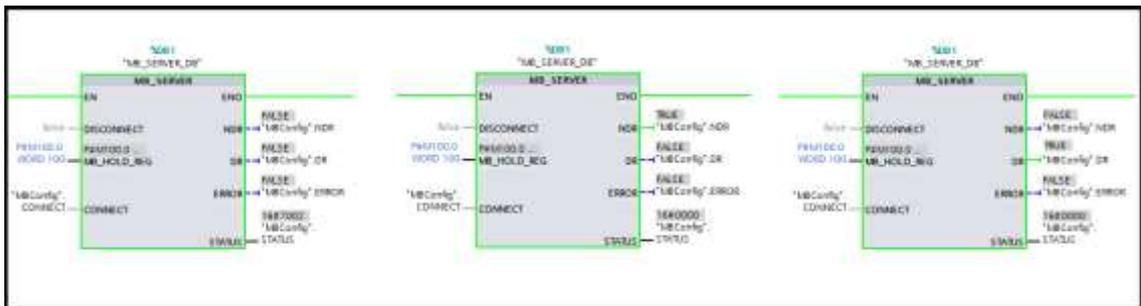
La comunicación del maestro IO-Link con el PLC se lo realiza a través de PROFINET, la comprobación de dicha comunicación se lo realiza a través del programa TIA Portal v14, abriendo la configuración de dispositivos y redes, luego estableciendo una conexión online y verificar que no exista ningún error de conexión.



**Figura 2-3:** Comprobación de comunicación PLC-Maestro

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

La instrucción MB\_Server se encarga de enviar y recibir la información proveniente de la comunicación ethernet con la PC, cuando el parámetro DR está activo recibe los datos de la PC, mientras que cuando el parámetro NDR está activo envíe los datos al computador. La interfaz en LabVIEW cumple la misma función que el bloque MB\_Server enviando y recibiendo datos a través de MODBUS Ethernet.



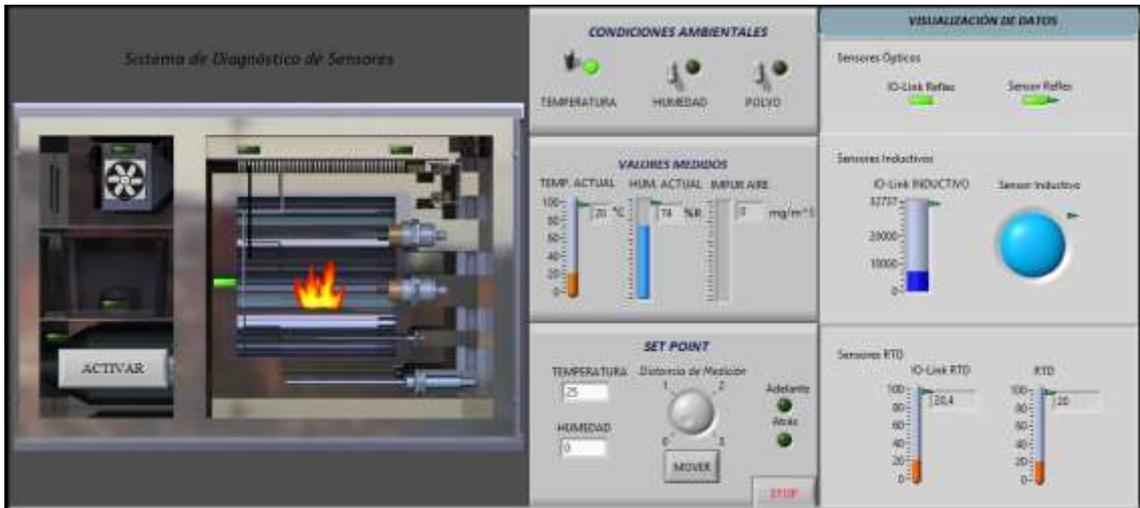
**Figura 3-3:** Comprobación de comunicación MODBUS Ethernet

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

### 3.3 Ensayos del sistema de diagnóstico de sensores

Las tres estaciones de simulación antes mencionadas, permiten realizar pruebas con al temperatura, humedad y polvo. En la industria existen diversas condiciones las cuales convergen, y generan fallos en los distintos dispositivos. A continuación, los ensayos a realizarse combinan estas condiciones para una adquisición de datos y posteriormente analizarlos.

El usuario ingresa un valor que modifica la temperatura en el interior, para que los elementos dentro de la cámara sean sometidos. El valor se ingresa a través de un set point, activando un par de resistencias que calientan el ambiente dentro del sistema hasta llegar a la temperatura seteada, para conocer el valor de la temperatura dentro de la cámara se tiene un sensor, el cual compara los valores medidos con el set point apagando las resistencias al alcanzar el valor deseado, a través de la interfaz de usuario se observa dicho comportamiento.



**Figura 4-3:** Simulación de temperatura

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

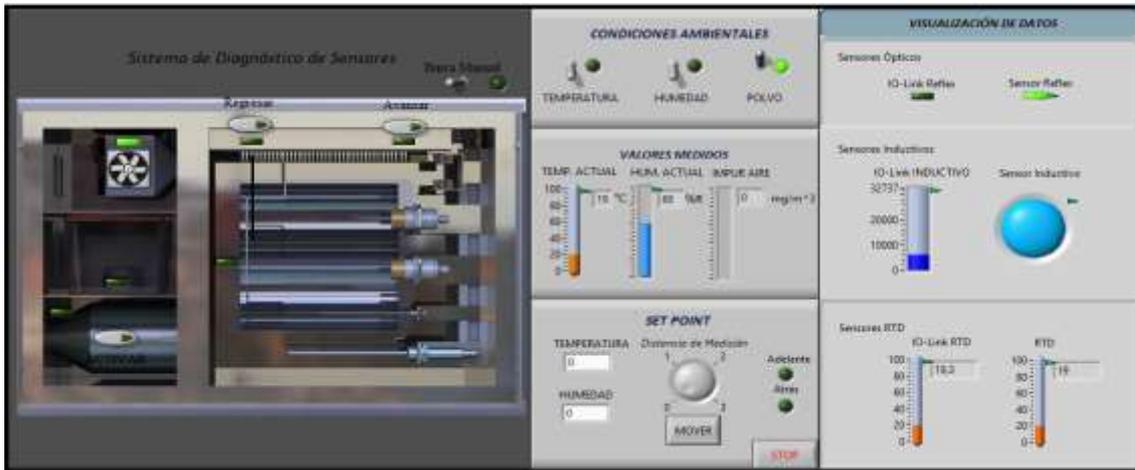
El usuario ingresa un valor que modifica la humedad en el interior, para que los elementos dentro de la cámara sean sometidos. El valor se ingresa a través de un set point, activando un nebulizador ultrasónico generando humedad para llegar al valor seteado, para conocer el valor de la humedad dentro de la cámara se tiene un sensor, el cual compara los valores medidos con el set point apagando el nebulizador al alcanzar el valor deseado, a través de la interfaz de usuario se observa dicho comportamiento.



**Figura 5-3:** Simulación de humedad

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Con la estación de polvo se realizan pruebas que comprenden entre 0.7143 a 2.1429 centímetros cúbicos de polvo en el ambiente. La prueba se la efectúa en tres secciones, ingresando las diferentes cantidades de polvo al transcurso de la prueba.



**Figura 6-3:** Simulación de polvo

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Es posible combinar las tres estaciones para generar nuevos datos, que posteriormente serán analizados, de esta forma se comprueba que los elementos dentro de la cámara poseen o no poseen una confiabilidad necesaria para trabajar en diversas condiciones agresivas.



**Figura 7-3:** Simulación de temperatura, humedad y polvo

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Después de realizar los ensayos, se obtuvo datos que posteriormente serán analizados, mediante el software estadístico SPSS, en la tabla 1-3 se muestra un ejemplo de todos los valores obtenidos a 30 grados centígrados en el ensayo de temperatura, dado que la cantidad de datos es muy extensa se optó por obtener la media de los mismos para su posterior análisis.

**Tabla 1-3:** Datos de temperatura a 30 °C.

Temperatura	Datos
30	25,1
30	25,1
30	25,1
30	25,1
30	25,1
30	25,1
30	25,2
30	25,2
30	25,2
30	25,3
30	25,4
30	25,5

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Una vez analizados todos los datos en sus diferentes pruebas con sus respectivas medias, se procede agrupar los mismos generando así una nueva tabla 2-3, la cual va a servir como referencia para verificar la confiabilidad en los dispositivos.

### 3.3.1 Ensayos IO-Link RTD

Como antes se menciona, los datos obtenidos para cada dispositivo son extensos, por lo cual cada sensor posee una muestra generalizada de todo el conjunto de ensayos a través de LabVIEW para su posterior análisis. En la tabla 2-3 se visualiza los datos obtenidos con polvo y temperatura para el sensor IO-Link RTD.

**Tabla 2-3:** Datos del sensor IO-Link RTD

Tabla de lectura sensor IO-Link RTD				
Temperatura	Lectura en condiciones normales	0,7143 cm <sup>3</sup> de polvo	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo
30	25,2	38,4967742	33,86	25,77
40	35,5625	51,4212121	48,3	36,37
50	48,9761905	63,7257143	60,66	49,11
60	59,316129	74,4846154	70,91	60,61
70	68,92	82,7565217	79,42	70,2

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

El diseño experimental que permite analizar los datos obtenidos en la tabla 2-3, es un diseño experimental por bloques, donde se identifican los factores que intervienen en la recolección de datos en diversas temperaturas.

Primeramente, se comprueba la normalidad existente entre los datos obtenidos para realizar el Diseño por Bloques, esto quiere decir que los datos tienden a formar una línea recta, mejor dicho distribución normal.

**Tabla 3-3:** Prueba de normalidad para el sensor IO-Link RTD

	Condiciones Ambientales	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
IO-Link RTD	Condiciones Ambientales	0,153	5	,200*	0,976	5	0,911
	0,743 cm <sup>3</sup> de polvo	0,157	5	,200*	0,976	5	0,913
	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	0,152	5	,200*	0,977	5	0,917
	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo	0,152	5	,200*	0,977	5	0,916

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

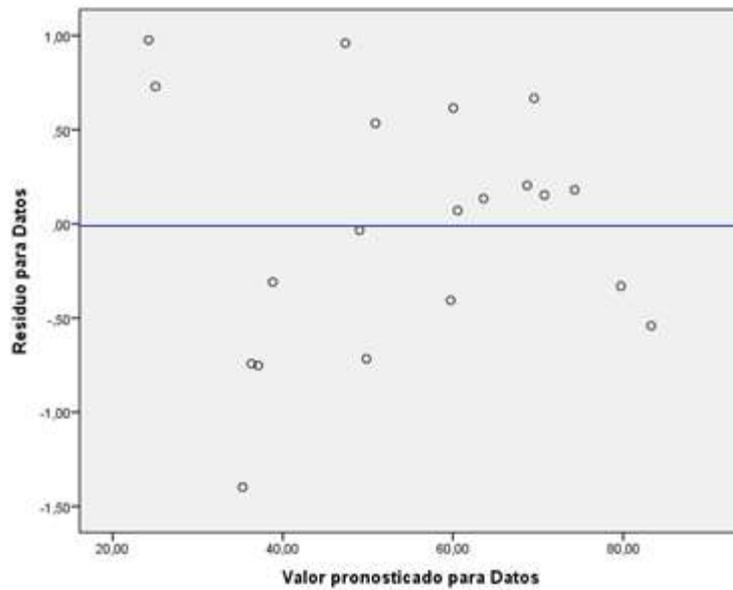
El estadístico de Shapiro-Wilk es utilizado para verificar si los datos a analizar fueron generados por un proceso normal. Las probabilidades de las cuatro condiciones ambientales utilizando este estadístico, son mayores al nivel de significancia, es decir, todos los datos siguen una distribución normal. Comprobada que los datos siguen una distribución normal, ahora se comprueba la homogeneidad de varianzas, para continuar con el diseño por Bloques.

**Tabla 4-3:** Prueba de Homogeneidad de varianzas IO-Link RTD

Temperatura				Condiciones			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,001	3	16	1,000	0,717	4	15	0,594

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Según el estadístico de Levene la probabilidad de 1,000 para temperatura y 0,594 para las condiciones agresivas de polvo, son mayores al nivel de significancia por lo que se comprueba que la varianza de los datos promedio son iguales. El siguiente gráfico 1-3, no presenta tendencia curvilínea es decir no muestra evidencia de interacción entre factor y bloque, comprobando una vez más que es factible realizar el diseño experimental por Bloques.



**Gráfico 1-3:** Diagrama de dispersión del sensor IO-Link RTD

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En la tabla 5-3, se presenta la prueba de los efectos inter-sujetos del diseño experimental por Bloques.

**Tabla 5-3:** Prueba efectos inter-sujetos IO-Link RTD

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5877,303 <sup>a</sup>	7	839,615	1277,461	0,000
Intersección	58760,351	1	58760,351	89402,994	0,000
Condiciones	801,922	3	267,307	406,704	0,000
Temperatura	5075,381	4	1268,845	1930,529	0,000
Error	7,887	12	0,657		
Total	64645,541	20			
Total corregida	5885,19	19			

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

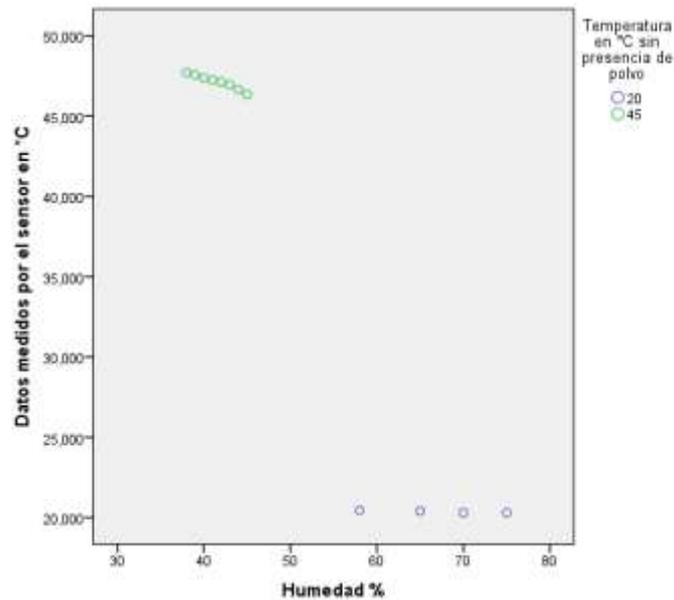
En vista que los valores de probabilidades de “temperatura” y “condiciones” son menores al nivel de significancia del 0.05 establecido, se concluye los datos obtenidos por el sensor IO-Link RTD van a depender de las condiciones agresivas del polvo en las que se encuentren, afectando de diversas formas la confiabilidad en él sensor.

Para analizar los datos obtenidos por las pruebas de humedad se usó un diagrama de dispersión, en la siguiente tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Datos obtenidos en prueba de humedad IO-Link RTD

Humedad	Lectura a 20°C sin polvo	Humedad	Lectura a 20°C con 2,1429cm <sup>3</sup>
58	20,4490991	50	20,57
65	20,4	60	20,5
70	20,3	70	20,6
75	20,3	80	20,71
		85	20,8
Humedad	Lectura a 45°C sin polvo	Humedad	Lectura a 40°C con 2,1429cm <sup>3</sup>
38	47,7	47	41,75
39	47,56666667	48	40,93333333
40	47,36666667	49	40,68888889
41	47,25	50	40,52380952
42	47,13333333		
43	46,95		
44	46,65		
45	46,35		

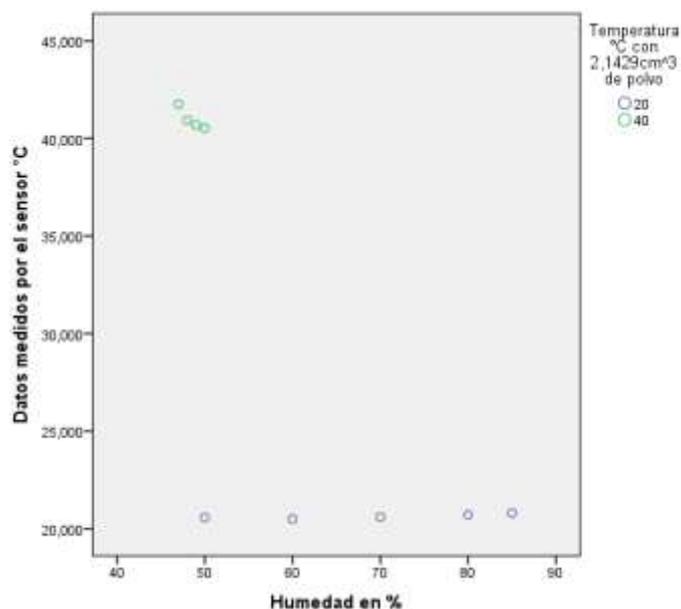
Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.



**Gráfico 2-3:** Diagrama de dispersión para el sensor IO-Link RTD

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En el gráfico 2-3, se evidencia que la variación de humedad a menor temperatura no influye en la correcta adquisición de datos, mientras que a mayor temperatura afecta la adquisición en la lectura de datos del sensor.



**Gráfico 3-3:** Diagrama de dispersión para el sensor IO-Link RTD con polvo

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En el gráfico 3-3, se evidencia que la presencia de polvo y humedad afecta en mayor medida la lectura de datos del sensor, que solo la humedad.

### 3.3.2 Ensayos RTD

Al igual que en el anterior ensayo se realizó las mismas pruebas de normalidad, tabla 8-3 y homogeneidad, tabla 9-3, para realizar el diseño experimental por bloques, en la tabla 7-3 se observa los datos con los cuales se va a realizar el diseño experimental.

Cabe recalcar que para antes de realizar un diseño experimental por bloques, se necesita de las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas.

**Tabla 7-3:** Datos del sensor RTD

Tabla de lectura sensor RTD				
Temperatura	Lectura en condiciones normales	0,7143 cm <sup>3</sup> de polvo	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo
30	26	23,3529412	35,86	35,08
40	41,75	44,4193548	49,38	50,82
50	57,80952381	56,6363636	58,65	61,31
60	69,93548387	66,7142857	67	69,72
70	72,4	75,7948718	74,47	75,16

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

**Tabla 8-3:** Prueba de normalidad para el sensor RTD

	Condiciones Ambientales	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RTD	Condiciones Ambientales	0,198	5	,200*	0,92	5	0,53
	0,743 cm <sup>3</sup> de polvo	0,163	5	,200*	0,968	5	0,861
	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	0,144	5	,200*	0,98	5	0,936
	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo	0,172	5	,200*	0,956	5	0,776

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

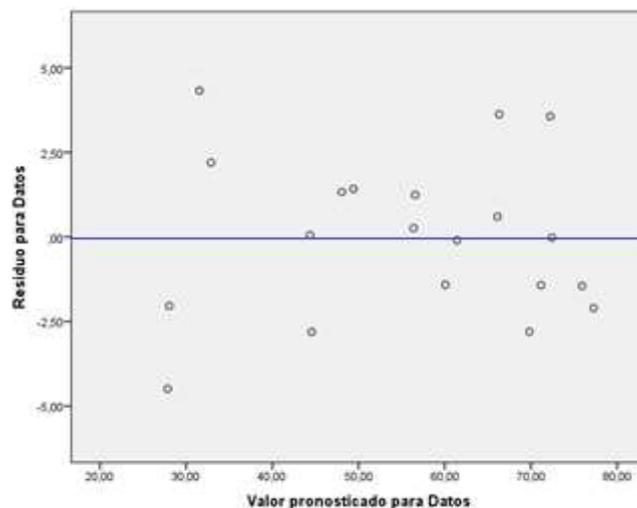
Las probabilidades de las cuatro condiciones ambientales utilizando el estadístico de Shapiro-Wilk, son mayores al nivel de significancia, es decir, todos los datos siguen una distribución normal.

**Tabla 9-3:** Prueba de Homogeneidad de varianzas RTD

Condiciones				Temperatura			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
13,857	4	15	0,000	0,301	3	16	0,824

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Según la prueba de Levene la probabilidad de 0,824 es mayor al nivel de significancia por lo que se comprueba que la varianza de los datos promedio son iguales. El gráfico 4-3, no presenta tendencia curvilínea es decir no muestra evidencia de interacción entre factor y bloque, comprobando una vez más que es factible realizar el diseño experimental por Bloques.



**Gráfico 4-3:** Diagrama de dispersión del sensor RTD

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En la tabla 10-3, se presenta la prueba de los efectos inter-sujetos del diseño experimental por Bloques.

**Tabla 10-3:** Prueba efectos inter-sujetos RTD

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5134,275 <sup>a</sup>	7	733,468	83,166	0,000
Intersección	61856,43	1	61856,43	7013,709	0,000
Condiciones	95,521	3	31,84	3,61	0,046
Temperatura	5038,754	4	1259,688	142,832	0,000
Error	105,832	12	8,819		
Total	67096,537	20			
Total corregida	5240,107	19			

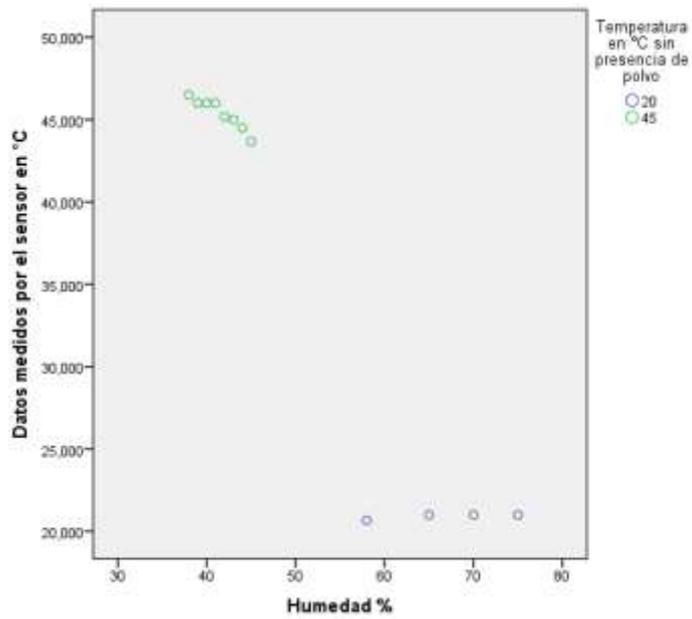
**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En vista que los valores de probabilidades de “temperatura” y “condiciones” son menores al nivel de significancia del 0.05, y se concluye que los datos obtenidos por el sensor RTD dependen de las condiciones agresivas del polvo a las que se someten, afectando la confiabilidad en él sensor, y para comprobar el funcionamiento del sensor RTD en una condición de humedad variante se realiza de igual forma una gráfica de dispersión de los datos obtenidos, en la tabla 11-3.

**Tabla 11-3:** Datos obtenidos en prueba de humedad RTD

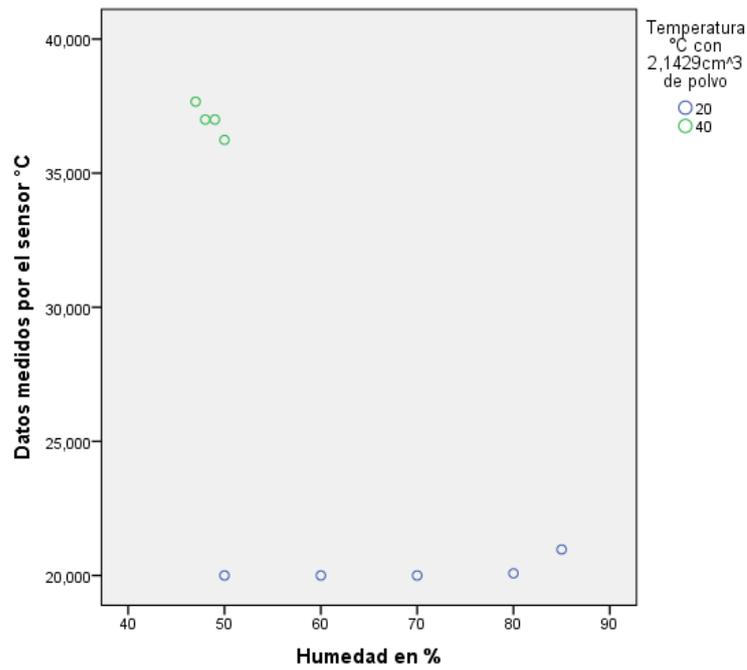
Humedad	Lectura a 20°C sin polvo	Humedad	Lectura a 20°C con 2,1429cm <sup>3</sup>
58	20,675	50	20
65	21	60	20
70	21	70	20
75	21	80	20,08
		85	20,97
Humedad	Lectura a 45°C sin polvo	Humedad	Lectura a 40°C con 2,1429cm <sup>3</sup>
38	46,5	47	37,6666667
39	46	48	37
40	46	49	37
41	46	50	36,2380952
42	45,1666667		
43	45		
44	44,5		
45	43,6666667		

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.



**Gráfico 5-3:** Diagrama de dispersión para el sensor RTD

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.



**Gráfico 6-3:** Diagrama de dispersión para el sensor RTD con polvo

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En el gráfico 5-3 y en el gráfico 6-3, se evidencia que la variación de humedad a menor temperatura no influye en la correcta adquisición de datos, mientras que a mayor temperatura afecta la adquisición de datos del sensor en mayor escala con respecto al sensor IO-Link.

Se asume que la pérdida de datos se debe a que la corriente de excitación genere un efecto Joule un calentamiento del elemento sensor aumentando su temperatura y produciendo un error en la lectura. Es frecuente que cables en ambientes muy húmedos se deterioren y se produzca un paso de corriente entre ellos a través de humedad condensada, aunque mínima esta corriente fugada hará aparecer en el lector una temperatura menor que la real, estas fugas también pueden ocurrir en oxido humedad o polvo entre los terminales.

### 3.3.3 Ensayo IO-Link Inductivo

Todos los sensores que proporcionen una señal análoga, serán analizados con el diseño por bloques de un análisis de experimentos. Para ser factible este análisis se comprueba la normalidad de los datos, homogeneidad de varianzas y después una prueba inter-sujetos que valida la estadística encontrada. En la tabla 7-3 se observa los datos con los cuales se va a realizar el diseño experimental.

**Tabla 12-3:** Datos del sensor IO-Link Inductivo

Tabla de lectura sensor IO-Link Inductivo				
Temperatura	Lectura en condiciones normales	0,7143 cm <sup>3</sup> de polvo	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo
30	12832	12718,7419	12464,82	13872,35
40	12690,75	12580,8181	12402,17	13834
50	12607,5714	12574,8857	12415,77	13762,64
60	12655,3478	12583,3076	12475,4	13769
70	12653,8	12606,4782	12524,88	13784,28

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

**Tabla 13-3:** Prueba de normalidad para el sensor IO-Link Inductivo

	Condiciones Ambientales	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RTD	Condiciones Ambientales	0,287	5	0,200*	0,849	5	0,190
	0,743 cm <sup>3</sup> de polvo	0,342	5	0,057	0,710	5	0,012
	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	0,196	5	0,200*	0,948	5	0,722
	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo	0,266	5	0,200*	0,883	5	0,321

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

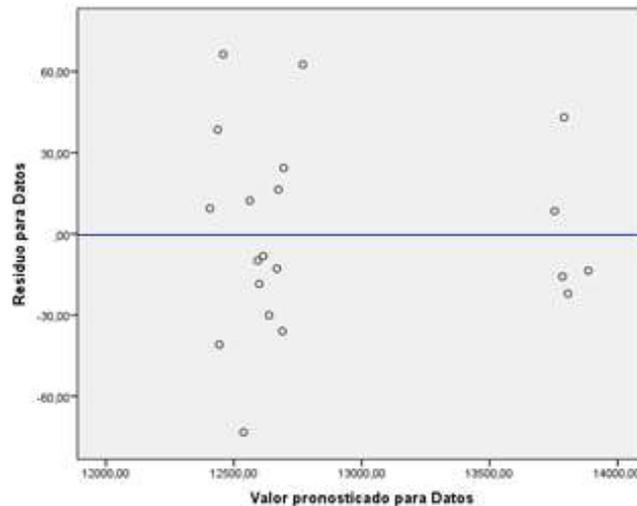
La probabilidad en condiciones ambientales normales de 0.190 es mayor al nivel de significancia, de igual forma la probabilidad de las 2 últimas condiciones utilizando el estadístico de Shapiro-Wilk, son mayores al nivel de significancia, es decir, todos los datos siguen una distribución normal.

**Tabla 14-3:** Prueba de Homogeneidad de varianzas IO-Link Inductivo

Condiciones				Temperatura			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0,007	4	15	1,000	0,346	3	16	0,792

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Según la prueba de Levene, la probabilidad del factor condición y el bloque temperatura son mayores al nivel de significancia del 5% por lo que se comprueba que la varianza de los datos promedio son iguales. El Gráfico 7-3 no presenta tendencia curvilínea es decir no muestra evidencia de interacción entre las condiciones sometidas y la temperatura.



**Gráfico 7-3:** Diagrama de dispersión del sensor IO-Link Inductivo

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

A diferencia de las dos anteriores pruebas de sus respectivos sensores, para apreciar la manera en la que las condiciones afectan al sensor IO-Link Inductivo se optó por una prueba post-hoc de Bonferroni, en la Tabla 15-3 se visualiza la probabilidad en la cual el polvo afecta al sensor inteligente inductivo.

**Tabla 15-3:** Prueba Post-Hoc en condiciones de polvo para IO-Link Inductivo

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Inductivo						
Bonferroni						
(I)Condiciones Ambientales	(J)Condiciones Ambientales	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
	0,743 cm <sup>3</sup> de polvo	75,0475	28,0932	0,122	-13,5214	163,6164

Condiciones Ambientales	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	231,2779*	28,0932	0,000	142,7089	319,8468
	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo	-1116,5601*	28,0932	0,000	-1205,129	-1027,991
0,743 cm <sup>3</sup> de polvo	Condiciones Ambientales	-75,0475	28,0932	0,122	-163,616	13,5214
	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	156,2304*	28,0932	0,001	67,6614	244,799
	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo	-1191,6076*	28,0932	0,000	-1280,176	-1103,038
1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	Condiciones Ambientales	-231,2779*	28,0932	0,000	-319,8468	-142,7089
	0,743 cm <sup>3</sup> de polvo	-156,2304*	28,0932	0,001	-244,7993	-67,6614
	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo	-1347,8380*	28,0932	0,000	-1436,406	-1259,269
2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo	Condiciones Ambientales	1116,5601*	28,0932	0,000	1027,9912	1205,1291
	0,743 cm <sup>3</sup> de polvo	1191,6076*	28,0932	0,000	1103,0387	1280,1766
	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	1347,8380*	28,0932	0,000	1259,2691	1436,4069

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Con la prueba Post-Hoc se determina que la probabilidad de las condiciones es menor al 5% del valor de significancia por lo cual el polvo afecta al sensor en la adquisición de datos a medida que la cantidad empleada sea mucho mayor. Con el mismo método, para condiciones altas de temperatura las pruebas Post-hoc de Bonferroni para el sensor Inductivo se muestran en la tabla 16-3.

**Tabla 16-3:** Prueba Post-Hoc en condiciones de temperatura para IO-Link Inductivo

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Inductivo						
Bonferroni						
(I)Temperatura	(J)Temperatura	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
30 grados centígrados	40 grados centígrados	95,0434	31,40915	0,105	-12,6411	202,728
	50 grados centígrados	131,7612*	31,40915	0,012	24,0767	239,4457
	60 grados centígrados	101,2041	31,40915	0,073	-6,4804	208,8886
	70 grados centígrados	79,6184	31,40915	0,262	-28,0661	187,3029
40 grados centígrados	30 grados centígrados	-95,0434	31,40915	0,105	-202,728	12,6411
	50 grados centígrados	36,7178	31,40915	1,000	-70,9668	144,4023
	60 grados centígrados	6,1607	31,40915	1,000	-101,5239	113,8452
	70 grados centígrados	-15,425	31,40915	1,000	-123,1095	92,2595
50 grados centígrados	30 grados centígrados	-131,7612*	31,40915	0,012	-239,4457	-24,0767
	40 grados centígrados	-36,7178	31,40915	1,000	-144,4023	70,9668
	60 grados centígrados	-30,5571	31,40915	1,000	-138,2416	77,1274
	70 grados centígrados	-52,1428	31,40915	1,000	-159,8273	55,5417
	30 grados centígrados	-101,2041	31,40915	0,073	-208,8886	6,4804

60 grados centígrados	40 grados centígrados	-6,1607	31,40915	1,000	-113,8452	101,5239
	50 grados centígrados	30,5571	31,40915	1,000	-77,1274	138,2416
	70 grados centígrados	-21,5857	31,40915	1,000	-129,2702	86,0988
70 grados centígrados	30 grados centígrados	-79,6184	31,40915	0,262	-187,3029	28,0661
	40 grados centígrados	15,425	31,40915	1,000	-92,2595	123,1095
	50 grados centígrados	52,1428	31,40915	1,000	-55,5417	159,8273
	60 grados centígrados	21,5857	31,40915	1,000	-86,0988	129,2702

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En esta prueba Post-hoc se determina que la probabilidad es mayor al 5% del valor de significancia por lo cual la temperatura no afecta en gran medida a diferencia del polvo, en la adquisición de datos del sensor.

Los datos obtenidos por las pruebas realizadas con humedad de la Tabla 17-3 se analizan por medio de un gráfico de dispersión, el cual mostrara si existe una distribución anormal de datos, los cuales ayudan a identificar la condición en la cual el sensor se comporta de una manera indebida.

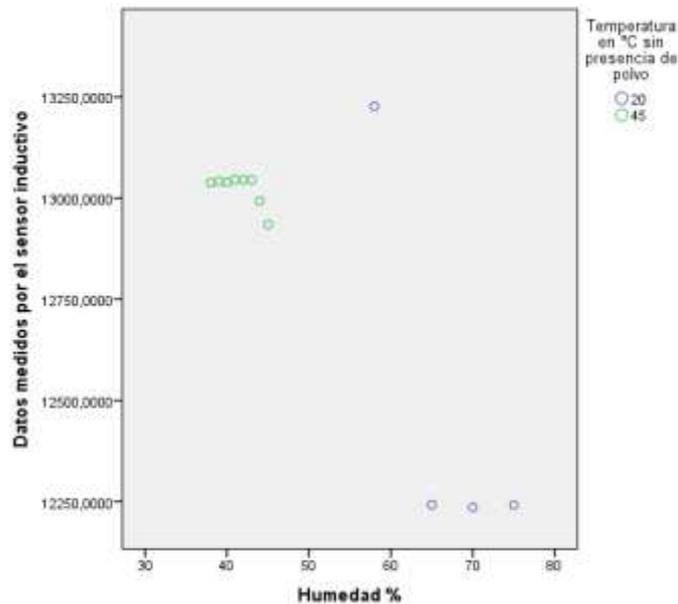
**Tabla 17-3:** Datos obtenidos en pruebas de humedad con IO-Link Inductivo

Humedad	Lectura a 20°C sin polvo	Humedad	Lectura a 20°C con 2,1429 cm <sup>3</sup>
58	13226,6937	50	12250,56
65	12242,3333	60	12248,6
70	12235,5714	70	12249,4
75	12241,3396	80	12236,89
		85	12235,114
Humedad	Lectura a 45°C sin polvo	Humedad	Lectura a 40°C con 2,1429 cm <sup>3</sup>
38	13037,66667	47	13121,22222
39	13041,66667	48	13203,44444
40	13039	49	13205,66667
41	13045,66667	50	13507,95238
42	13045		
43	13045		
44	12993		
45	12935		

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

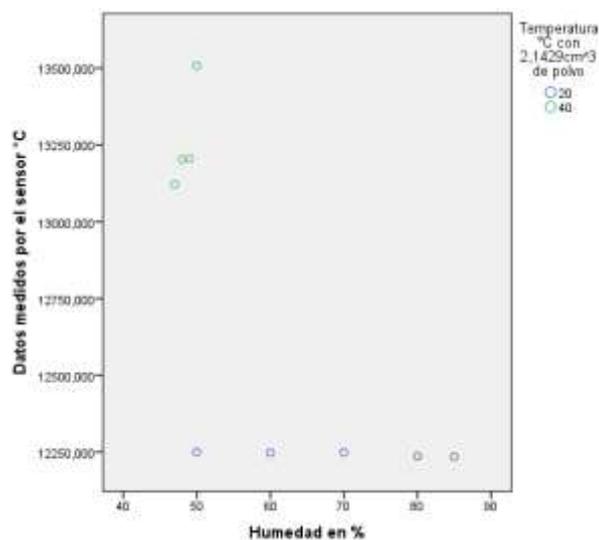
En el gráfico 8-3, se muestra la relación que existe entre la humedad y los datos obtenidos a determinadas temperaturas, en este caso no existe polvo, pero se puede notar que, al alcanzar una

humedad más alta, la adquisición de datos se vuelve inexacta, proporcionando valores erróneos. Se estipulo que las altas temperaturas no generan gran inconveniente, pero al someterlo con una humedad variante, los valores leídos cambian.



**Gráfico 8-3:** Diagrama de dispersión del sensor IO-Link Inductivo

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.



**Gráfico 9-3:** Diagrama de dispersión del sensor IO-Link Inductivo con polvo

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Al presenciar polvo en cantidades considerables, la señal del sensor no varía del todo obteniendo así una distribución normal de datos como se muestra en el gráfico 9-3, pero con una temperatura mucho más alta, el sensor empieza a generar datos inexactos, generando una adquisición anormal de los mismos.

### 3.3.4 Ensayo Sensor Inductivo

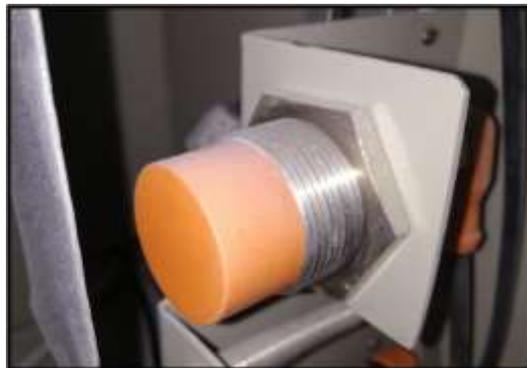
La variación de los datos en condiciones agresivas se puede presenciar mejor en sensores analógicos, por el motivo de que estos sensores varían con respecto a la magnitud medida. En cambio los sensores digitales por su constitución no permiten visualizar cambios en los datos obtenidos. En la tabla 18-3, se visualizan los datos obtenidos por las pruebas de temperatura y polvo que se realizaron al sensor inductivo. Como se puede observar este dato permanece constante enviando una sola señal digital.

**Tabla 18-3:** Datos del sensor Inductivo

Tabla de lectura sensor Inductivo				
Temperatura	Lectura en condiciones normales	0,7143 cm <sup>3</sup> de polvo	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo
30	1	1	1	1
40	1	1	1	1
50	1	1	1	1
60	1	1	1	1
70	1	1	1	1

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

No se puede apreciar el efecto que causan las condiciones agresivas en la recolección de datos, pero físicamente se visualiza que al sensor llegan las diferentes condiciones y lo afectan a largo plazo. En la figura 8-3, se visualiza al sensor expuesto a 1,4286 cm<sup>3</sup> de polvo.



**Figura 8-3:** Sensor expuesto a pruebas de polvo

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

### 3.3.5 Ensayo Sensor IO-Link Réflex

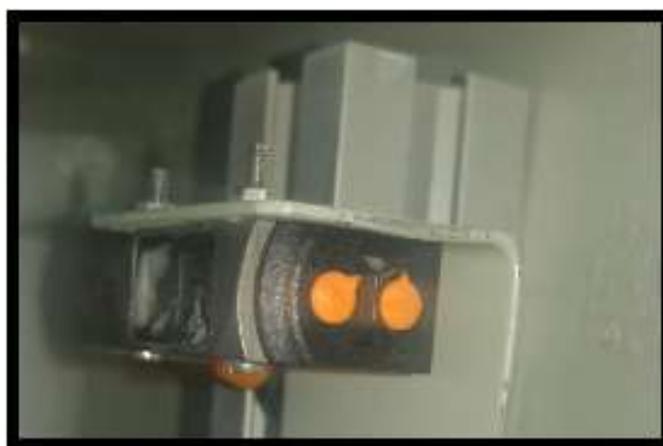
Este es uno de los sensores que poseen una salida digital, al igual que el sensor inductivo previamente mencionado el análisis de datos es un tanto complejo, dado que los sensores digitales por su construcción no se puede visualizar cambios en los datos obtenidos. En la tabla 19-3, se aprecian los datos obtenidos por el sensor al estar bajo condiciones de temperatura y polvo.

**Tabla 19-3:** Datos del sensor IO-Link Réflex

Tabla de lectura sensor Inductivo				
Temperatura	Lectura en condiciones normales	0,7143 cm <sup>3</sup> de polvo	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo
30	1	1	1	1
40	1	1	1	1
50	1	1	1	0
60	1	0	0	0
70	0	0	0	0

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Como se observa en la tabla 18-3, la recolección de los datos se ve afectada a medida que la temperatura aumenta. De igual manera al aumentar la cantidad de polvo en el sistema de diagnóstico de sensores, el sensor se ve afectado causando pérdidas en su lectura. En la figura 9-3, se aprecia al sensor después de haber sufrido altas temperatura y 2,1429 cm<sup>3</sup> de polvo.



**Figura 9-3:** Sensor expuesto a pruebas de polvo y temperatura

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En la tabla 20-3, se puede visualizar como la humedad y el polvo afectan al sensor a medida que estas condiciones aumentan.

**Tabla 20-3:** Datos obtenidos en pruebas de humedad con IO-Link Réflex

Humedad	Lectura a 20°C sin polvo	Humedad	Lectura a 20°C con 2,1429 cm <sup>3</sup>
58	1	50	1
65	1	60	1
70	1	70	1
75	1	80	1
		85	1

Humedad	Lectura a 45°C sin polvo	Humedad	Lectura a 40°C con 2,1429 cm <sup>3</sup>
38	1	47	1
39	1	48	1
40	1	49	1
41	1	50	0
42	0		
43	0		
44	1		
45	0		

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

### 3.3.6 Ensayo sensor Réflex

Este sensor presenta un caso similar al del sensor IO-link Réflex, afectando su confiabilidad al incrementarse la temperatura y la cantidad de polvo en el ambiente. En la tabla 21-3, se enseña los valores que obtuvo el sensor después de estar expuesto a las diferentes pruebas en este caso de temperatura y polvo.

**Tabla 21-3:** Datos del sensor Réflex

Tabla de lectura sensor Inductivo				
Temperatura	Lectura en condiciones normales	0,7143 cm <sup>3</sup> de polvo	1,4286 cm <sup>3</sup> de polvo	2,1429 cm <sup>3</sup> de polvo
30	1	1	1	1
40	1	1	1	1
50	1	1	1	1
60	1	1	1	0
70	1	0	0	0

Realizado por: Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

En la figura 10-3, se observa como el sensor presenta una fina capa conformada por la humedad y el polvo en el ambiente, esta capa muy fina se formó después de estar expuesto a una humedad relativamente alta y con 0,7143 cm<sup>3</sup> de polvo.



**Figura 10-3:** Sensor expuesto a pruebas de polvo y humedad

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

Después de un periodo considerable de tiempo se distinguió que el panel de los sensores reflectivos, resulto afectado por las altas temperaturas en las cuales este fue sometido. El sensor reflectivo posee una carcasa robusta la cual evita el desgaste a largo tiempo, en cambio el panel nido de abeja no cuenta con los materiales necesarios ni los grados de protección necesarias para estar expuestos a condiciones adversas, figura 11-3.



**Figura 11-3:** Panel nido de abeja expuesto a pruebas de temperatura

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

### 3.4 Diagnóstico Final

Todos los sensores fueron sometidos a las mismas condiciones, por lo cual se pudo obtener datos confiables y así realizar un diagnóstico propio con la evidencia encontrada. Dado que el fabricante de los sensores ya ha realizado pruebas pertinentes para certificar su producto, el diagnóstico a efectuar será para un proceso de formación profesional, donde a partir del conocimiento adquirido a través de los años como estudiantes, generaremos nuestras conclusiones.

Primero, el sensor IO-Link RTD, presentó una pequeña variación de datos al someterlo a temperatura altas con una cantidad de  $2,1429\text{cm}^3$  de polvo, como se puede visualizar en la tabla 2-3, este valor sufrió una variación de aproximadamente  $\pm 0,65$  grados con respecto a la temperatura real de 60 grados. Por otro lado, se evidencia que la presencia de polvo en conjunto con la humedad, afecta en mayor medida la obtención de datos que tan solo la humedad. Al ser este dispositivo un sensor inteligente, se podría evitar la acumulación excesiva de polvo por el motivo de que posee un sistema de alarmas que nos indica si en algún punto el sensor está siendo sometido a algún agente externo que produzca variación en la recolección de datos.

El sensor convencional RTD sometido a temperatura altas con una cantidad de  $2,1429\text{cm}^3$  de polvo nos arrojó un resultado de  $\pm 4,5$  grados de error, este se asume que es debido a una deficiente prueba de calidad realizada por el fabricante, donde no cuenta con el grado de protección adecuada. En el área industrial, no se puede verificar si este sensor está siendo afectado por agentes externos a diferencia del sensor IO-Link, que proporciona información con respecto a dichos agentes, y de esta manera poder realizar el mantenimiento respectivo. Se concluye que en ambos sensores RTD, el polvo hace que la temperatura aumente debido a la variación de la resistencia interna de dichos sensores generando así una incoherencia en la recolección de datos siendo este, mayor en el sensor convencional.

En el caso del sensor IO-Link Inductivo, cuando fue sometido a pruebas de temperatura y polvo, generando una diferencia al aumentar desde  $0,7143\text{ m}^3$  tres veces. Se concluye que esto se debe a la acumulación de polvo tanto en la placa metálica como en el dispositivo, provocando que la inductancia detectada modifique los datos recolectados por el sensor. No se puede evidenciar algún cambio de inductancia en el sensor inductivo normal, este nos da una señal booleana de uno o cero que no se ve modificada en la presencia de agentes externos como el polvo, pero al observar físicamente el dispositivo podemos evidenciar que se formó una película de polvo en el mismo. A largo plazo, si este sensor no posee un mantenimiento adecuado, acortará su vida útil.

Ambos sensores reflectivos, presentaron fallos en su funcionamiento por el motivo de que aumentar la temperatura, este se calienta demasiado y sus componentes electrónicos sufren fallos internamente. El haz de luz no puede ser reflejado en el panel debido a la presencia de polvo en el lente del sensor. Concluimos que la película de polvo con humedad en la lente y panel reflectivo del sensor, obstaculiza la recepción de la señal en el receptor del sensor. El sistema de alarmas en el IO-Link Reflectivo brindaría información de los agentes que provocan la no adquisición correcta de los datos, como es la presencia de polvo o un sobre voltaje existente en el dispositivo. Los sensores inteligentes a diferencia de los sensores convencionales ayudan a realizar un mejor diagnóstico, por el sistema de alarmas que estos poseen. Se recomienda implementar esta nueva tecnología en la industria ya que acortaría el tiempo en la instalación, mantenimiento, y abaratar costos en todos los componentes IO-Link.

### 3.5 Análisis de Costos

En la tabla 22-3, se detalla el costo de cada uno de los equipos y elementos usados en el sistema.

**Tabla 22-3:** Listado de precios

Descripción	Cantidad	Precio
PLC	1	850.12
Módulo de entradas analógicas	1	489.44
Fuente 24 VDC	1	132.16
Acondicionador de señal	1	100.00
Arduino	1	32.00
Sensor de humedad y temperatura	1	99,00
Sensor de polvo	2	30.00
Sensor RTD	1	32.00
Sensor Inductivo	1	60.13
Sensor Réflex	1	129.37
Maestro IO-Link	1	662.07
Sensor RTD IO-Link	1	261.04
Sensor Inductivo IO-Link	1	102.36
Sensor Réflex IO-Link	1	201.31
Reflector Nido de Abeja	2	68.61
Prolongador M12 RJ45	1	130.14
Cables sensores IO-Link	4	145.20
Switch ethernet	1	12.00
Ventiladores	4	35.00
Motor	1	30.00
Estructura mecánica	1	586.00
<b>Costo Total del Sistema</b>		<b>4187.95</b>

**Realizado por:** Huilca, Erick; Silva, Fernán; 2018.

## CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema de diagnóstico de sensores para la simulación de condiciones adversas, posteriormente la recolección de los datos se hace con la ayuda de una interfaz en LabVIEW comunicado con MODBUS/TCP.
- Al ser IO-Link una conexión punto a punto posee una gran variedad de protocolos de comunicación con PLCs, como es el caso de Profinet en SIEMENS.
- Los valores obtenidos de los sensores se contrastaron con un rango de 20-70 °C que está inmerso en el rango preestablecido por el fabricante.
- Tanto el sensor IO-Link RTD como el sensor RTD, sin polvo y humedad no presentan ninguna alteración en la adquisición de datos, pero cuando se los somete a prueba con las condiciones antes mencionadas los datos obtenidos presentan una ligera alteración.
- El sensor IO-Link Inductivo no presenta cambios significantes al someterlo a temperaturas elevadas, ya que supera el 0.05 de nivel de significancia en su análisis estadístico. En cambio, el polvo afecta de una manera significativa en la adquisición de datos por que la inductancia generada por la bobina del sensor con el elemento a sensar (placa metálica) varía al momento de crearse una capa de polvo en ambos elementos.
- El sensor Inductivo no presentó cambios relevantes al someterlos a diferentes pruebas, ya sean estas de polvo, humedad y temperatura.
- Los sensores refractivos presentan perdidas de datos debido a su panel refractivo, al aumentar la temperatura y someterlo a diversas condiciones de polvo.

## RECOMENDACIONES

- Verificar que tanto el maestro IO-Link como el PLC manejen el mismo estándar de comunicación industrial por ejemplo PROFINET.
- Implementar un sistema de enfriamiento que permita evaluar sensores o distintos componentes en condiciones adversas para temperaturas bajas.
- Mantener los sensores en perfectas condiciones al almacenarlos (libres de humedad, polvo o cualquier agente externo) para evitar de esta manera pérdidas en la adquisición de datos al someterlos nuevamente a las distintas pruebas.
- Aislar a los elementos que no cuenten con una respectiva protección contra condiciones agresivas sin perder las propiedades del mismo.
- Direccionar correctamente las entradas y salidas del controlador lógico programable para la comunicación con MODBUS/TCP de la interfaz de operador.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**AMADOR, G.** Sensores Magnéticos e Inductivos. [en línea], 2005. [Consulta: 27 julio 2017]. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores\\_magneticos.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores_magneticos.pdf).

**ANDRICKSON MORA, J.A. y CHACÓN RUGELES, R.** CAPITULO VII Sensores. *Instrumentación Electrónica* [en línea], 2005. [Consulta: 2 julio 2018]. Disponible en: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/sensores.pdf>.

**APPLUS LABORATORIES.** Ensayo Ambiental - Cámaras y simuladores | NEURTEK. [en línea], 2015. [Consulta: 21 junio 2018]. Disponible en: <https://www.neurtek.com/es/ensayos-ambientales>.

**IO-LINK.** Sistema IO-Link. [en línea], 2013. [Consulta: 26 junio 2018]. Disponible en: [http://media.automation24.com/manual/es/65949252\\_io\\_link\\_system\\_function\\_manual.pdf](http://media.automation24.com/manual/es/65949252_io_link_system_function_manual.pdf).

**AUTONICS.** SENSORES FOTOLÉCTRICOS. [en línea], 2015. [Consulta: 4 julio 2018]. Disponible en: <http://dominion.com.mx/descargas/sensores-fotoelectricos.pdf>.

**BALCELLS, J. y ROMERAL, J.L.** Sensores y actuadores. [en línea], 2009. [Consulta: 2 julio 2018]. Disponible en: <http://isa.uniovi.es/docencia/autom3m/Temas/Tema7.pdf>.

**BERMEJO, M.** Aspectos Regulatorios de los Estudios de Estabilidad en Europa. [en línea], 2003. [Consulta: 21 junio 2018]. Disponible en: <https://www.uv.es/~mbermejo/estabilidadT>.

**CAICEDO, E. y JULIO, C.** Redes Industriales. [en línea], 2006. [Consulta: 27 junio 2018]. Disponible en: <http://juce.galeon.com/artredind.pdf>.

**CEIISA.** Control e Instrumentación Industrial: Sensores Inductivos. [en línea], 2016. [Consulta: 4 julio 2018]. Disponible en: <http://ceiisa.blogspot.com/2015/02/sensores-inductivos.html>.

**CONTRINEX.** Catálogo general. [en línea], 2016. [Consulta: 4 julio 2018]. Disponible en: [https://qm2tbvuqeu1u45fp3efz165n-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/05/02\\_Cat.-General\\_Sensores-fotoelectricos-1.pdf](https://qm2tbvuqeu1u45fp3efz165n-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/05/02_Cat.-General_Sensores-fotoelectricos-1.pdf).

**DATEXEL.** Programmable transmitter for Pt100 TECHNICAL SPECIFICATIONS (Typical @ 25 °C and in nominal conditions). [en línea], 2000. [Consulta: 6 julio 2018]. Disponible en: [www.datexel.it](http://www.datexel.it).

**EQUIPOS Y LABORATORIO DE COLOMBIA.** MEDICION DE HUMEDAD. [en línea], 2015. [Consulta: 3 junio 2018]. Disponible en: <http://www.industriacosmetica.net/digital-versions/magazines/index.html?id=2>. pp. 32.

**EUDIM.** Sensores y Transductores. [en línea], 2015. [Consulta: 2 julio 2018]. Disponible en: [http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm\\_Ch03\\_mfuentesm.pdf](http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf).

**FERNÁNDEZ, A.** Sensores Magnéticos e Inductivos. [en línea], 2005. [Consulta: 4 julio 2018]. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores\\_magneticos.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores_magneticos.pdf).

**GRANADO, E.** Desarrollo de un laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales para la mejora del proceso enseñanza/aprendizaje. *Revista de la Facultad de* [en línea], 2016. [Consulta: 6 julio 2017]. Disponible en: <http://revistadelaacademiadeingenieria.com/index.php/ingenieria/article/viewFile/364/364>.

**HESSE, S.** *Sensores en la técnica de fabricación*, 2006. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Sensores.pdf>.

**IFM.** II5974 - Inductive sensor - eclass: 27270101 / 27-27-01-01. [en línea], 2016. [Consulta: 6 julio 2018]. Disponible en: <https://www.ifm.com/products/us/ds/II5974.htm>.

**IFM.** AL1100 - IO-Link master with Profinet interface - eclass: 27259090 / 27-25-90-90. [en línea], 2017a. [Consulta: 5 julio 2018]. Disponible en: <https://www.ifm.com/products/ca/ds/AL1100.htm>.

**IFM.** TA2447 - Temperature transmitter - ifm electronic. [en línea], 2017b. [Consulta: 6 julio 2018]. Disponible en: <https://www.ifm.com/gb/en/product/TA2447>.

**IFM.** O6P309 - Retro-reflective sensor - ifm electronic. [en línea], 2018. [Consulta: 6 julio 2018]. Disponible en: <https://www.ifm.com/mx/en/product/O6P309>.

*Industria Cosmética*. [en línea], 2017. [Consulta: 21 junio 2018]. Disponible en: <http://www.industriacosmetica.net/digital-versions/magazines/index.html?id=2>. pp. 32.

**IO-LINK**. IO-Link System Description. [en línea], 2018. [Consulta: 22 junio 2018]. Disponible en: [http://www.io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link\\_System\\_Description\\_eng\\_2018.pdf](http://www.io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link_System_Description_eng_2018.pdf).

**KASCHEL, H. y PINTO, E.** Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales. *Santiago de Chile* [en línea], 2014. [Consulta: 6 julio 2017]. Disponible en: <http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/349/1259/6572/6606/78288.pdf>.

**MPCONTROL**. Cámara Climática Definición ¿Qué es una Cámara Climática? [en línea], 2018. [Consulta: 21 junio 2018]. Disponible en: <http://www.mpcontrol.es/index.php/definicion-camara-climatica/>.

**OSORIO, J., VARGAS, J. y ESCOBAR, J.** Control y supervisión de un sistema pick and place neumático a través de un PLC y un sistema SCADA. *Scientia et technica* [en línea], 2012. [Consulta: 13 julio 2017]. ISSN 2344-7214. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6695/3999>. vol. 2, no. 50, pp. 141-146.

**SAN GIL, J., GONZÁLEZ DE RIVERA, J.L. y GONZÁLEZ, J.** Metodología de la investigación en biometeorología psiquiátrica. *Sierra López Editorial* [en línea], 2007. [Consulta: 21 junio 2018]. Disponible en: [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/93\\_c032\\_07.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/93_c032_07.pdf). vol. 23, pp. 345-380.

**SHISHIR REGE**. Demystifying Class A and Class B Type IO-Link Ports – AUTOMATION INSIGHTS. [en línea], 2017. [Consulta: 26 junio 2018]. Disponible en: <https://automation-insights.blog/2017/11/01/demystifying-class-a-and-class-b-type-io-link-ports/>.

**SICK**. IO-Link: fundamentos teóricos y tecnología | SICK. [en línea], 2018. [Consulta: 22 junio 2018]. Disponible en: <https://www.sick.com/es/es/io-link-fundamentos-teoricos-y-tecnologia/w/io-link-basics-and-technology/>.

**SIEMENS**, Manual de usuario PLC S7-1200 [en línea], 2007. [Consulta: 22 junio 2018].. Data sheet. . DOI 10.1007/978-3-211-89836-9\_355. pp. 1-2.

**SIEMENS**, Manual de usuario Modulo Analógico [en línea], 2017. [Consulta: 15 junio 2018].. Modbus/TCP with instructions MB\_CLIENT and MB\_SERVER. ,

**SIEMENS**, Manual de usuario LOGO POWER [en línea], 2018. [Consulta: 30 junio 2018].. Data sheet. DOI 10.1007/978-3-211-89836-9\_355. pp. 5-8.

**UNICEN**. El modelo OSI. [en línea], 2016. [Consulta: 27 junio 2018]. Disponible en: <http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/comdat1/material/ElmodeloOSI.pdf>.

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**. Comunicaciones Industriales. [en línea], 2006. [Consulta: 27 junio 2018]. Disponible en: <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/comunicacionesindustrialesdocumento.pdf>.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**. Interfaz Hombre-Máquina. [en línea], 2008. [Consulta: 29 junio 2018]. Disponible en: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/SW para aplicaciones Industriales I/Teoria/3 Interfaz Hombre-maquina.pdf>.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**. Introduccion a las redes de Comunicacion. [en línea], 2009. Disponible en: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Redes Industriales/Redes/Conferencias/Capitulo 1.pdf>. pp. 3-4.

**UNLP DE ARGENTINA**. Termocuplas, Fisica II Diseño Industrial. [en línea], 2007. [Consulta: 2 julio 2018]. Disponible en: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cys/DI/termocuplas.pdf>.

# ANEXOS

## Anexo A: Datasheet Condicionador DAT 2065

 <p>Via monte Nero, 40/B – 21049 TRADATE (VA) ITALY Phone: +39 (0)331841070 Fax: +39 (0)331841950 - e-mail: datexel@datexel.it - www.datexel.it</p>	 <p>UNE EN ISO 9001:2008</p>	<p><b>Programmable transmitter for Pt100</b></p> <p><b>DAT 2065</b></p>
<p><b>FEATURES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Input for RTD type Pt100</li> <li>- Unit of measure configurable in °C or °F</li> <li>- Zero and Span values configurable by DIP-switches</li> <li>- 4 to 20 mA linearised output on current loop</li> <li>- Good accuracy and performance stability</li> <li>- EMC compliant – CE mark</li> <li>- DIN rail mounting in compliance with EN-50022 and EN-50035</li> </ul>		

### GENERAL DESCRIPTION

The transmitter DAT 2065 is designed to provide on its output a linearised 4-20 mA current loop signal proportional with the temperature characteristic of the Pt100 sensor connected on its input.

It is possible to connect on the input both 3 wires and 2 wires Pt100.

The user can program the input range by the proper DIP-switch available after opening the suitable door located on the side of device (see "Input range table" section).

The regulation of Zero and Span values is made by the ZERO and SPAN potentiometers located on the top of device.

It has been made in compliance with the Directive 2004/108/EC on the Electromagnetic Compatibility.

It is housed in a plastic enclosure of 12.5 mm thickness suitable for DIN rail mounting in according to EN-50022 and EN-50035 standards.

### OPERATIVE INSTRUCTIONS

The transmitter DAT 2065 must be powered by a direct voltage included in the 10 V to 30 V range. The power supply must be applied between the terminals R (+V) and P (-V), or alternatively between the terminals Q (+V) and O (-V).

The 4-20 mA output signal is measurable in series to the power loop as shown in the section "Power supply/output connections"; "Rload" is the input impedance value of the instruments located on the current loop; for a correct measure, it is recommended that the maximum value of "Rload" must be calculated as function of the power supply value (refer to the section "Load characteristic").

The input connections must be made as shown in the section "Input connections".

The 3 wires Pt100 must be connected between the terminals G and I, while the third wire must be connected to the terminal E or alternatively connect the sensor between the terminals H and L while the third wire must be connected to the terminal F.

The 2 wires Pt100 must be connected between the terminals G and I, making a short circuit between the terminals G and E or alternatively connect the sensor between the terminals H and L, making a short circuit between the terminals H and F.

The configuration of input range values is made by DIP-switches (refer to the section "Input range table").

After the transmitter configuration, it is necessary to calibrate it using the ZERO and SPAN; this operation is illustrated in the section "DAT 2065: Configuration and calibration".

To install the device refer to the section "Installation instructions".

<b>TECHNICAL SPECIFICATIONS (Typical @ 25 °C and in nominal conditions)</b>	
<b>Input</b>	
Sensor type	2 or 3 wire Pt100 in according to IEC60751 standard
Minimum input Span	50 °C (122 °F)
Zero programmability	From -50 °C (-58 °F) up to + 50 °C (122 °F)
Span programmability	From 50 °C (122 °F) up to 650 °C (1202 °F)
Sensor excitation current	0.6 mA typ.
Line resistance influence	0.05 % of f.s./ohm (100 ohm max. balanced per wire)
<b>Output</b>	
Signal type	4 ÷ 20 mA on current loop
Burnout condition	Positive out of scale (>20 mA)
Maximum output signal	32 mA
Load resistance (Rload)	see "Load characteristic"
Response time (from 10 to 90 % of f.s.)	300 ms
Warm-up time	3 minutes
<b>Performances</b>	
Calibration error	± 0.1 % of f.s.
Linearity error (*)	± 0.15 % of f.s.
Thermal drift	0.020 % of f.s./°C
Power supply voltage (**)	10 ÷ 30 Vdc
Electromagnetic Compatibility (EMC) ( for industrial environments )	Immunity: EN 61000-6-2; Emission : EN 61000-6-4.
Operating temperature	-20 to 70 °C
Storage temperature	-40 to 85 °C
Relative humidity (non cond.)	0 to 90%
Weight	approx. 80 g.
(*) inclusive of hysteresis, power supply variation and linearisation error. (**) internally protected against polarity reversion.	

### DAT 2065: CONFIGURATION & CALIBRATION

- 1) Calculate the difference between the maximum and the minimum value of the input range (Span).
  - 2) Refer to the "Input ranges table" and determine in the column "SPAN" the position where the calculated value is included, then referring to the position obtained determine in the column "ZERO", the line in which the minimum value is included.
- In the correspondent line is shown as to set the DIP-switches.
- 3) Set the DIP-switches as indicated.
  - 4) Connect on input a 3 wire Pt100 simulator programmed to supply the maximum and minimum values of the input range or a fixed resistor of the same values.
  - 5) Set the simulator at the minimum temperature or to connect a fixed resistor correspondent to the minimum value.
  - 6) By the ZERO potentiometer calibrate the output at the 4 mA value.
  - 7) Set the simulator at the maximum temperature or to connect a fixed resistor correspondent to the maximum value.
  - 8) By the SPAN potentiometer calibrate the output at the 20 mA value.
  - 9) Repeat the operation from the step 5 to the step 8 until the output value will be correct (3 attempts typically required).

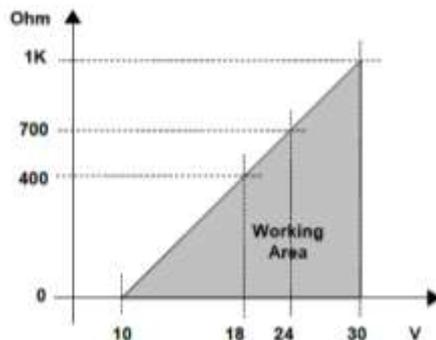
Configuration ex.: -30/200 °C  
 Span => 200°C - (-30°C) = 230°C  
 Input switches configuration (DSI): Off, Off, Off, Off.

### INPUT RANGES TABLE

INPUT		DSI			
SPAN	ZERO	1	2	3	4
< 80°C (176°F)	-50 to -25°C (-58 to -13°F)	●			
< 80°C (176°F)	-25 to 12°C (-13 to 53°F)		●		●
< 80°C (176°F)	12 to 50°C (53 to 122°F)		●	●	●
80 to 200°C (176 to 392°F)	-50 to -25°C (-58 to -13°F)	●	●		
80 to 200°C (176 to 392°F)	-25 to 12°C (-13 to 53°F)	●	●		●
80 to 200°C (176 to 392°F)	12 to 50°C (53 to 122°F)	●	●	●	●
200 to 250°C (392 to 482°F)	-50 to 50°C (-58 to 122°F)				
250 to 650°C (482 to 1202°F)	-50 to 50°C (-58 to 122°F)	●			

● = DIP SWITCHES: "ON"

### LOAD CHARACTERISTIC

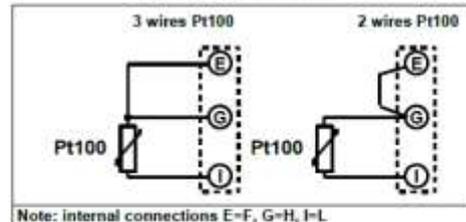


### INSTALLATION INSTRUCTIONS

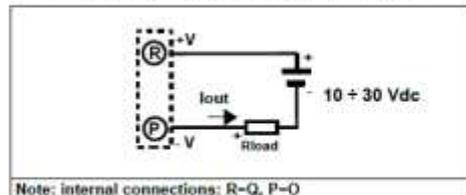
The device DAT 2065 is suitable for DIN rail mounting in vertical position.  
 It is necessary to install the device in a place without vibrations.  
 Moreover, it is recommended to use shielded cable to connect signals and to avoid routing conductors near power signal cables.

### CONNECTIONS DAT 2065

#### INPUT CONNECTIONS

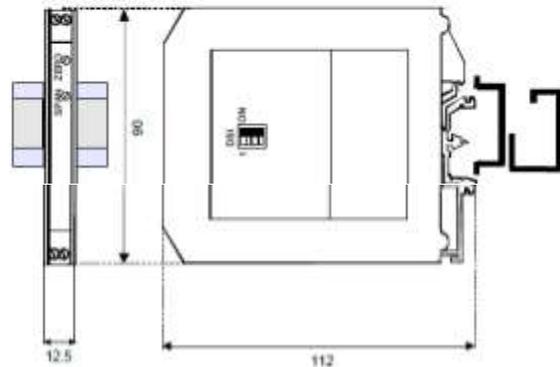


#### POWER SUPPLY/OUTPUT CONNECTIONS



Terminals N and M are not connected (NC).

### DIMENSIONS (mm) & SETTINGS



### HOW TO ORDER

The DAT 2065 is supplied regulated as requested on the order.  
 In case of the configuration is not specified, the parameters must be set by the user.

ORDER CODE EXAMPLE: DAT2065 0 + 200 °C/°F

↑                      ↑  
 Input range      Unit of measure

## Anexo B: Datasheet módulo entradas analógicas

### Data sheet

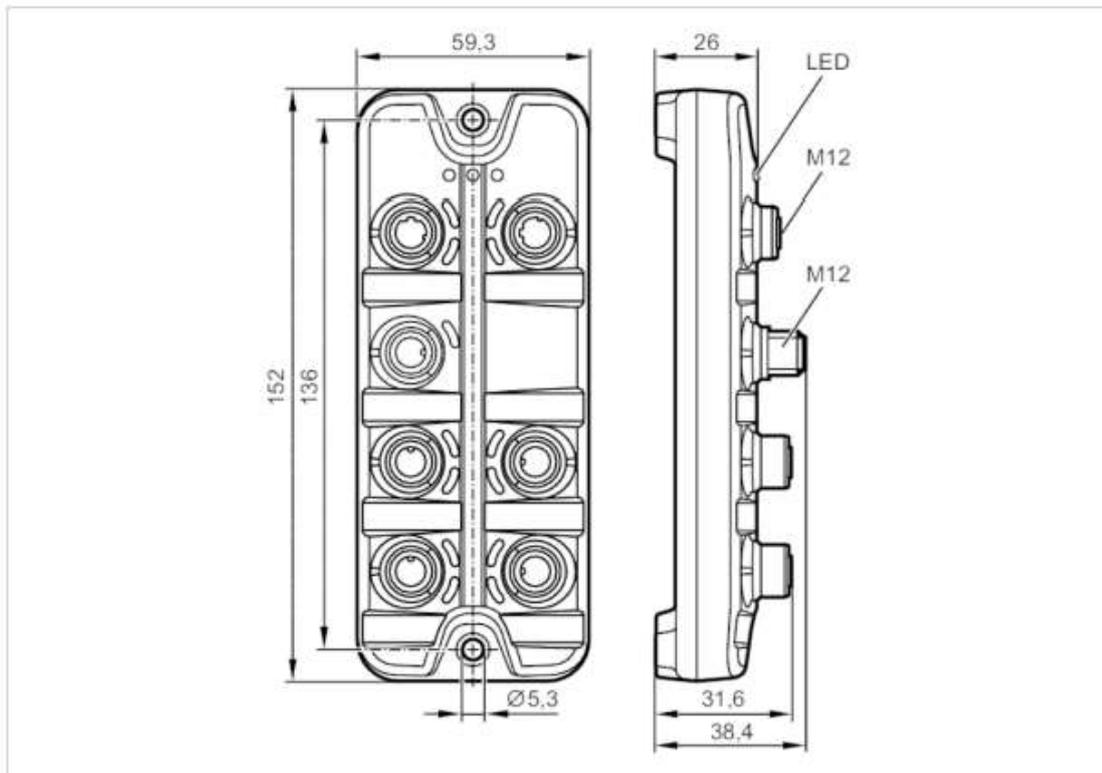
6ES7231-4HD30-0XB0

\*\*\*Spare part\*\*\* SIMATIC S7-1200, Analog input, SM 1231, 4 AI, +/- 10 V, +/- 5 V, +/- 2.5 V, or 0-20mA 12 bit+sign (13 bit ADC)



General information	
Product type designation	SM 1231, AI 4x13 bit
Supply voltage	
Rated value (DC)	Yes
• 24 V DC	
Input current	
Current consumption, typ.	45 mA
from backplane bus 5 V DC, typ.	80 mA
Power loss	
Power loss, typ.	1.5 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	4; Current or voltage differential inputs
permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	35 V
permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Cycle time (all channels) max.	625 µs
Input ranges	
• Voltage	Yes; ±10V, ±5V, ±2.5V
• Current	Yes; 0 to 20 mA
• Thermocouple	No
• Resistance thermometer	No
• Resistance	No
Input ranges (rated values), voltages	
• -10 V to +10 V	Yes
• Input resistance (-10 V to +10 V)	≥9 MΩ
• -2.5 V to +2.5 V	Yes
• Input resistance (-2.5 V to +2.5 V)	≥9 MΩ
• -5 V to +5 V	Yes
• Input resistance (-5 V to +5 V)	≥9 MΩ
Input ranges (rated values), currents	
• 0 to 20 mA	Yes
• Input resistance (0 to 20 mA)	280 Ω
Thermocouple (TC)	
Temperature compensation	No
— parameterizable	

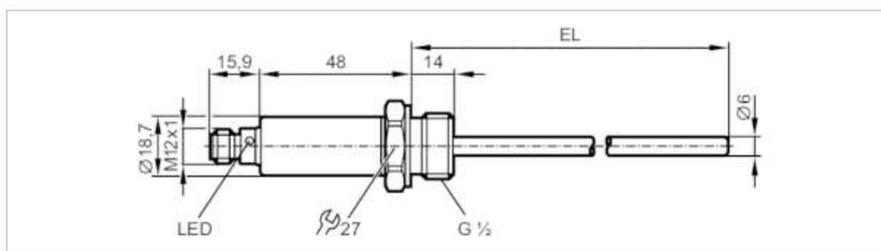
## Anexo C: Datasheet maestro IO-Link



Application	
Application	I/O modules for field applications
Daisy-chain function	fieldbus interface
Electrical data	
Operating voltage [V]	20...30 DC; (US; to SELV/PELV)
Current consumption [mA]	300...3900; (US)
Protection class	III
sensor supply US	
Max. current load total [A]	3.6
Inputs / outputs	
Total number of inputs and outputs	8; (configurable)
Inputs	
Number of digital inputs	8; (IO-Link Port Class A: 4 x 2)
Switching level high [V]	11...30
Switching level low [V]	0...5
Digital inputs protected against short circuits	yes

Outputs	
Number of digital outputs	4; (IO-Link Port Class A: 4 x 1)
Max. current load per output [mA]	200
Short-circuit proof	yes
Interfaces	
Communication interface	Ethernet; IO-Link
Ethernet	
Transmission standard	10Base-T; 100Base-TX
Transmission rate	10; 100
Protocol	PROFINET IO
Factory settings	IP address: 0.0.0.0
	subnet mask: 0.0.0.0
	gateway IP address: 0.0.0.0
	MAC address: see type label
IO-Link Master	
Transmission type	COM 1 / COM 2 / COM 3
IO-Link revision	1.1
Number of ports class A	4
Operating conditions	
Ambient temperature [°C]	-25...60
Storage temperature [°C]	-25...85
Max. relative air humidity [%]	90
Protection	IP 65; IP 66; IP 67
Degree of soiling	2
Tests / approvals	
EMC	EN 61000-6-2
	EN 61000-6-4
Shock resistance	DIN EN 60068-2-27
Vibration resistance	DIN EN 60068-2-64 2009-04
	DIN EN 60068-2-6 2008-10
MTTF [years]	90
Mechanical data	
Weight [g]	265
Materials	housing: PA; socket: brass nickel-plated

## Anexo D: Datasheet IO-Link RTD



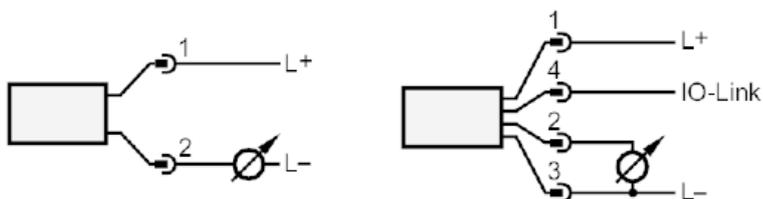
Application	
Measuring element	1 x Pt 1000; (to DIN EN 60751, class A)
Media	liquids and gases
Pressure rating [bar]	160
Note on pressure rating	sensor When mounted in adapters the specifications of the adapter data sheet apply.
Electrical data	
Operating voltage [V]	18...32 DC; ("supply class 2" to cULus)
Current consumption [mA]	< 50
Protection class	III
Reverse polarity protection	yes
Power-on delay time [s]	1
Outputs	
Total number of outputs	1
Output signal	analogue signal; IO-Link; (configurable)
Number of analogue outputs	1
Analogue current output [mA]	4...20
Max. load [Ω]	250; ((18...19 V); 19...32 V: 300 Ω)
Short-circuit protection	yes
Overload protection	yes

Measuring/setting range		
Measuring range	[°C]	-50...150
Factory setting		0...100 °C
Resolution		
Resolution of analogue output	[K]	0.04
Accuracy / deviations		
Precision analogue output	[K]	± 0,3 + (± 0,1 % MS)
Temperature coefficient	[% of the span / 10 K]	0,1; (in case of deviation from the reference condition 25 ± 5 °C)
Response times		
Dynamic response T05 / T09	[s]	1 / 3

Interfaces		
Communication interface		IO-Link
Transmission type		COM2 (38,4 kBaud)
IO-Link revision		1.1
Operating conditions		
Ambient temperature	[°C]	-25...80
Storage temperature	[°C]	-40...100
Protection		IP 67; IP 68; IP 69K
Tests / approvals		
EMC		DIN EN 61000-6-2
Shock resistance		DIN IEC 68-2-27
Vibration resistance		DIN IEC 68-2-6
MTTF	[years]	346
UL approval		UL Approval no. K002
Mechanical data		
Weight	[g]	142.4
Materials		stainless steel (1.4404 / 316L); PEI; FKM
Materials (wetted parts)		stainless steel (1.4404 / 316L); O-ring: FKM
Process connection		threaded connection G 1/2
Probe diameter	[mm]	6
Installation length EL	[mm]	150
Displays / operating elements		
Display	operating status	1 x LED, green
Remarks		
Remarks		MS = set measuring span
Pack quantity		1 pcs.
Electrical connection		
Connector: 1 x M12; Contacts: gold-plated		



#### Connection



## Anexo E: Datasheet IO-Link Inductivo

### Info card

**efector100**  
Inductive sensors with IO-Link

ifm electronic

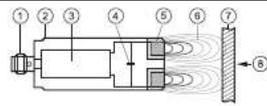


**1** This info card serves as a supplement to the main position sensors catalogue and to the individual data sheets. For further information and contact addresses please visit our website at [www.ifm.com](http://www.ifm.com).

#### Operating principle of an inductive proximity switch with IO-Link

Coil and capacitor form an LC resonant circuit, also called basic sensor.

If a target penetrates the sensor field, eddy currents are generated in the target, taking away energy from the sensor. The circuit ensures that even when a target is in contact with the sensor a process value is provided depending on the distance.



- |                          |   |
|--------------------------|---|
| 1 Connection             | 5 Coil  |
| 2 Housing                | 6 Alternating electromagnetic field = active zone |
| 3 Downstream electronics | 7 Target = electrically conductive material       |
| 4 Capacitor              | 8 Ideal direction of movement of the target       |

#### Glossary of important terms

Active zone	Area above the sensing face in which the sensor reacts to the approach of the target.
Number of switching operations	0...65535 → starts again at 0 when the maximum value has been reached.
Output function	Normally open: object within the active zone → output supplied with current. Normally closed: object within the active zone → output not supplied with current. Positive switching: positive output signal (to L+). Negative switching: negative output signal (to L-).
Switch-off delay	Can be set in steps of 100 ms.
Rated insulation voltage	DC units with protection class II: 250 V AC DC units with protection class III: 60 V DC
Rated short-circuit current	For short-circuit-proof units: 100 A
Power-on delay time	The time the sensor needs to be ready for operation after application of the operating voltage (in the millisecond range).
Operating voltage	Voltage range in which the sensor operates reliably. A stabilised and smoothed direct voltage should be used. Take into account the residual ripple.
Operating hours	0...65535h → remains on the maximum value when it has been reached.
Damping	Smoothing the output signal (POV) with fluctuating distance value; can be set in steps of 10 ms.

TU 22501/01/10/07/27/10

Start-up delay	Can be set in steps of 100 ms.
Setting range	Range in which a switch point can be set.
Utilisation category	DC units: DC-13 (control of solenoids)
Hysteresis	Difference between the switch-on and the switch-off point.
Short-circuit protection	If Ifm sensors are protected against overload by means of a pulsed short-circuit protection, the inrush current of incandescent lamps, electronic relays or low resistance loads may cause this protection to cut in and turn the sensor off.
Linearity error	Deviation of the output characteristics from the preset value characteristics.
Measuring range	Range in which the process value changes.
Final value of the measuring range	Maximum value which the process value can reach within the measuring range.
Standard target	Square-shaped steel plate (e.g. S235JR) of a thickness of 1 mm with a side length equal to the diameter of the sensing face or 3 x final value of the measuring range (S <sub>fin</sub> ), depending on which value is the highest.
Product standard	IEC 60947-5-2
Switch point drift	The shifting of the switch point if the ambient temperature changes.
Switching frequency	Damping with standard target at half the final value of the measuring range (S <sub>0.5</sub> ). The ratio damped to undamped (tooth to gap) = 1 : 2.

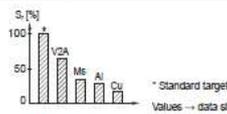
UK

**1** Observe the cycle time of IO-Link.

Current consumption	Current for the internal supply of 3-wire DC units.
Temperature drift	See switch point drift.
Degree of soiling	Inductive proximity sensors are designed for degree of soiling 3.
Repeatability	Difference between any two measurements within the measuring range.



#### Correction factors



**1** With materials and sizes deviating from the standard target the short range signal via IO-Link cannot be guaranteed.

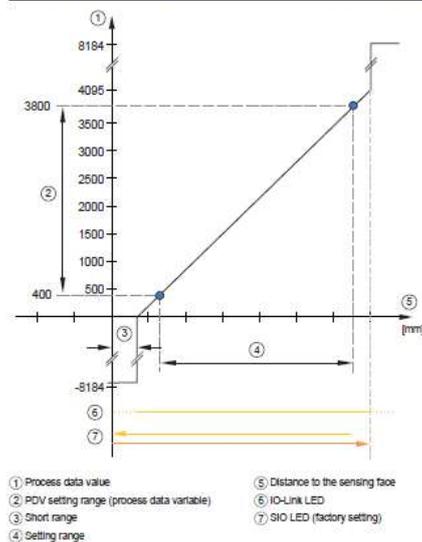
### Info card

**efector100**  
Inductive sensors with IO-Link

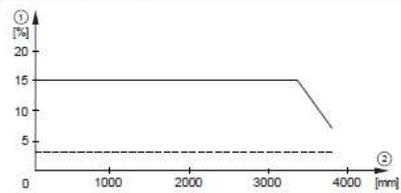
ifm electronic



#### Representation of the process value with measuring range and setting range with front damping



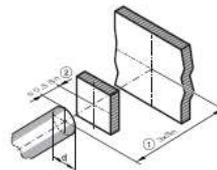
#### Hysteresis in % referred to the process value



1 Hysteresis  
2 Process value

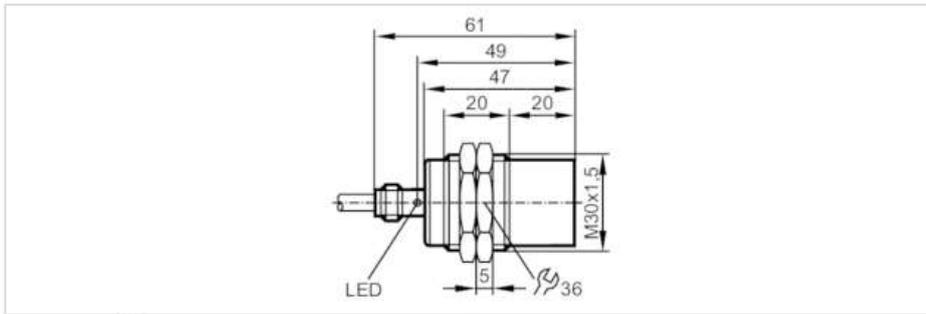
UK

#### Approach and ranges (valid for structural steel, e.g. S235JR)



1 Distance to the background  
2 Recommended target distance in SIO mode

## Anexo F: Datasheet Inductivo



Electrical data		
Operating voltage	[V]	15...30 DC
Current consumption	[mA]	< 15
Protection class		III
Reverse polarity protection		yes

Outputs		
Electrical design		PNP
Output function		normally open
Max. voltage drop switching output DC	[V]	2.5
Permanent current rating of switching output DC	[mA]	100
Switching frequency DC	[Hz]	200
Short-circuit protection		yes
Type of short-circuit protection		pulsed
Overload protection		yes

Detection zone		
Sensing range	[mm]	15
Real sensing range Sr	[mm]	15 ± 10 %
Operating distance	[mm]	0...12.1

Accuracy / deviations		
Correction factor		steel: 1 / stainless steel: 0.6 / brass: 0.4 / aluminium: 0.4 / copper: 0.3
Hysteresis	[% of Sr]	1...20
Switch point drift	[% of Sr]	-10...10

Operating conditions		
Ambient temperature	[°C]	-25...70
Protection		IP 67

Tests / approvals		
EMC	EN 61000-4-2 ESD	4 kV CD / 8 kV AD
	EN 61000-4-3 HF radiated	10 V/m
	EN 61000-4-4 Burst	2 kV
	EN 61000-4-6 HF conducted	3 V
	EN 55011 emission	class B
MTTF	[years]	1122
UL approval	Ta	-25...70 °C
	Enclosure type	Type 1
	voltage supply	Limited Voltage/Current
	File number UL	E174191

Mechanical data		
Weight	[g]	169.2
Housing		threaded type
Mounting		non-flush mountable
Dimensions	[mm]	M30 x 1.5 / L = 61
Thread designation		M30 x 1.5
Materials		housing: brass nickel-plated; sensing face: PBT; lock nuts: brass

Displays / operating elements		
Display	switching status	1 x LED, yellow

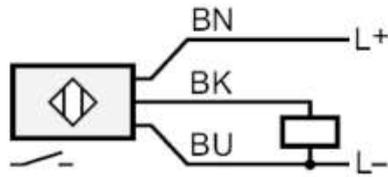
Accessories		
Accessories (supplied)		lock nuts: 2

Remarks		
Pack quantity		1 pcs.

### Electrical connection

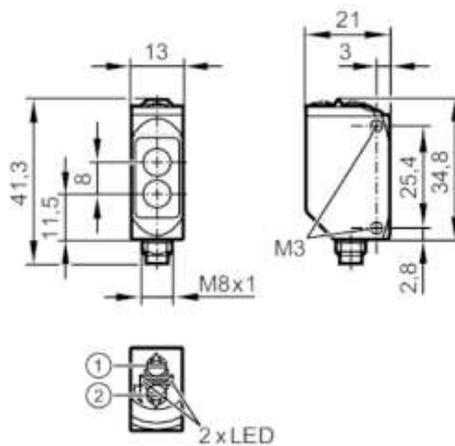
Cable: 2 m, PVC, Ø 4.9 mm; 3 x 0.34 mm<sup>2</sup>

### Connection



Core colours :  
BK = black  
BN = brown  
BU = blue

### Anexo G: Datasheet IO-Link Réflex



- 1: Interruptor para la función de salida
- 2: potenciómetro para sensibilidad receptor situado en la lente superior emisor situado en la lente inferior



Campo de aplicación	
Principio de funcionamiento	Sistema réflex
Datos eléctricos	
Tensión de alimentación [V]	10...30 DC
Consumo de corriente [mA]	12; ((24 V))
Clase de protección	III
Protección contra inversiones de polaridad	sí
Tipo de luz	luz roja
Longitud de onda [nm]	633

Salidas	
Función de salida	modo luz / oscuridad; (seleccionable)
Caída de tensión máx. de la salida de conmutación DC [V]	2,5
Corriente máxima permanente de la salida de conmutación DC [mA]	100
Frecuencia de conmutación DC [Hz]	1000
Alimentación	PNP
Protección contra cortocircuitos	sí
Tipo de protección contra cortocircuitos	pulsada

Rango de detección	
Alcance con respecto al reflector [m]	0,05...5; (Reflector «nido de abeja» Ø 80 E20005)
Alcance ajustable	sí
Diámetro máx. del punto luminoso [mm]	150
Dimensiones del punto luminoso aplicables para	con el alcance máximo
Filtro de polarización disponible	sí

Interfaces	
Interfaz de comunicación	IO-Link
Tipo de transmisión	COM2 (38,4kBaud)
Revisión IO-Link	1.1
Norma SDCI	IEC 61131-9 CDV
ID de equipo IO-Link	422 d / 00 01 A6 h
Perfiles	Smart Sensor: Device Identification; Binary Data Channel
Modo SIO	sí
Clase de puerto de maestro requerido	A

Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente [°C]	-25...80
Grado de protección	IP 65; IP 67; IP 68; IP 69K

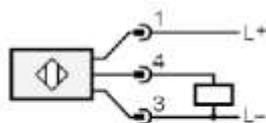
Homologaciones / pruebas		
CEM	EN 60947-5-2	
MTTF [años]	681	
Homologación UL	Número de homologación UL	E010

Datos mecánicos	
Peso [g]	35,4
Carcasa	rectangular
Dimensiones [mm]	41,3 x 13 x 21
Materiales	Carcasa: inox (1.4404 / 316L); plástico: PPSU; Junta de estanqueidad: EPDM
Material de la lente	PMMA

Indicaciones / elementos de mando		
Indicación	Estado de conmutación	1 x LED, amarillo
	Disponibilidad	1 x LED, verde

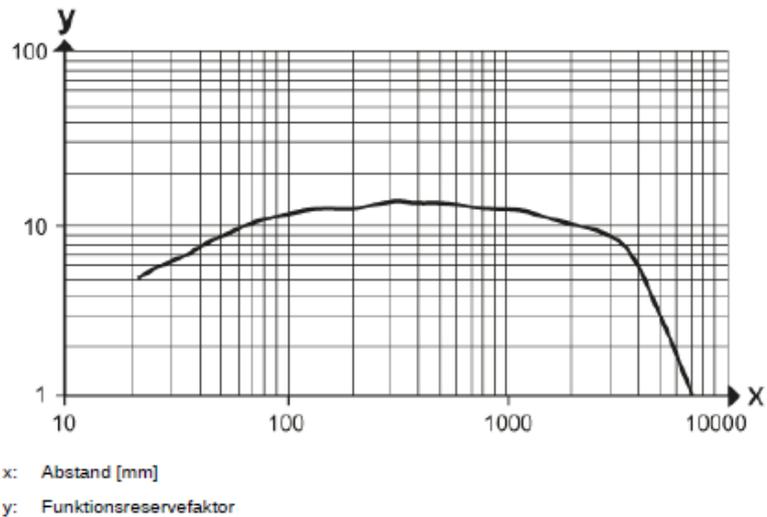


#### Conexión

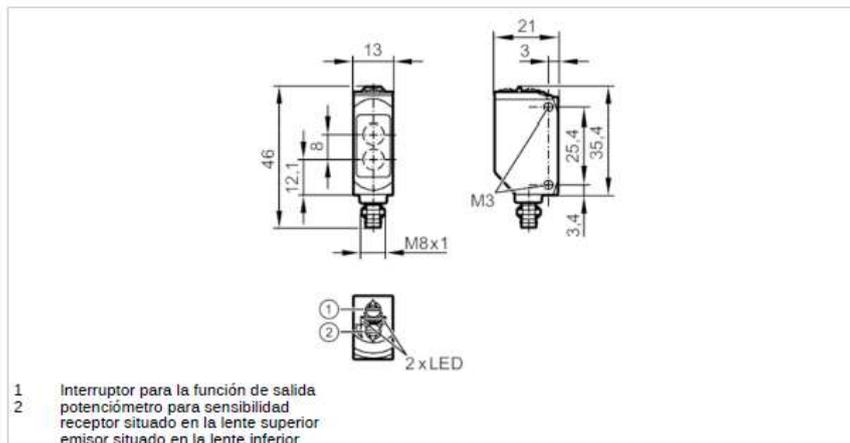


## Diagramas y curvas

curva de capacidad de reserva



## Anexo H: Datasheet Réflex



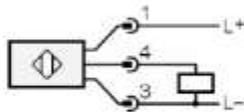
Campo de aplicación	
Principio de funcionamiento	Sistema réflex
Datos eléctricos	
Tensión de alimentación [V]	10...30 DC
Consumo de corriente [mA]	12: ((24 V))
Clase de protección	III
Protección contra inversiones de polaridad	sí
Tipo de luz	luz roja
Longitud de onda [nm]	633

Salidas	
Función de salida	modo luz / oscuridad; (seleccionable)
Caída de tensión máx. de la salida de conmutación DC [V]	2.5
Corriente máxima permanente de la salida de conmutación DC [mA]	100
Frecuencia de conmutación DC [Hz]	1000
Alimentación	PNP
Protección contra cortocircuitos	sí
Tipo de protección contra cortocircuitos	pulsada

Rango de detección		
Alcance con respecto al reflector	[m]	0,05...5; (Reflector «nido de abeja» Ø 80 E20005)
Alcance ajustable		sí
Diámetro máx. del punto luminoso	[mm]	150
Dimensiones del punto luminoso aplicables para		con el alcance máximo
Filtro de polarización disponible		sí
Condiciones ambientales		
Temperatura ambiente	[°C]	-25...60
Grado de protección		IP 65; IP 67
Homologaciones / pruebas		
CEM		EN 60947-5-2
MTTF	[años]	683
Homologación UL	Número de homologación UL	E001
Datos mecánicos		
Peso	[g]	19,2
Carcasa		rectangular
Dimensiones	[mm]	46 x 13 x 21
Materiales		Carcasa: ABS; PPSU; rosca del conector: latón con revestimiento; Junta de estanqueidad: EPDM
Material de la lente		PMMA
Material de la tuerca		latón
Par de apriete	[Nm]	0,5
Indicaciones / elementos de mando		
Indicación	Estado de conmutación	1 x LED, amarillo
	Disponibilidad	1 x LED, verde
Notas		
Notas		tensión de alimentación "supply class 2" según cULus
Cantidad por pack		1 unid.
Conexión eléctrica		
Conector: 1 x M8; bloqueo: latón, con revestimiento		



#### Conexión



#### Diagramas y curvas

curva de capacidad de reserva

