

**SISTEMA DE SENSORICA (MASTER/SENSOR) INTELIGENTE
MEDIANTE COMUNICACIÓN PROTOCOLO IO-LINK PARA LA
INDUSTRIA 4.0**

ANDRES FELIPE NARIÑO TORRES
ANDRES JAVIER VIDAL MISAS

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
ERNESTO SABOGAL GOMEZ

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
OCT, 2023

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: CONTROL Y AUTOMATISMOS INDUSTRIALES

**SISTEMA DE SENSORICA (MASTER/SENSOR) INTELIGENTE MEDIANTE
COMUNICACIÓN PROTOCOLO IO-LINK. PARA LA INDUSTRIA 4.0**

ANDRES FELIPE NARIÑO TORRES
ANDRES JAVIER VIDAL MISAS

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
ERNESTO SABOGAL GOMEZ

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, “La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

RESUMEN

En la Universidad El Bosque, la enseñanza en el área de sensorica, se ha centrado principalmente en la sensorica tradicional, a pesar de los avances en estándares de comunicación en la industria que no están cubiertos por el programa de ingeniería, creando una brecha de conocimiento en nuevos protocolos en el área de sensórica, con el propósito de abordar esta carencia, se propuso la implementación de un sistema de sensorica inteligente que utiliza el protocolo de comunicación IO-Link. Este sistema involucra sensores genéricos y un componente Master/Slave que se comunica mediante el protocolo IO-Link con sensores analógicos y digitales I²C. Este enfoque permite la visualización en tiempo real de las variables de medición.

Por consiguiente, se proporciona un prototipo funcional junto con guías de laboratorio y un manual de usuario para su uso en la asignatura de sensorica de la Universidad El Bosque. Este enfoque busca enriquecer el conocimiento de los estudiantes en diversas áreas de la sensórica y la tecnología IO-Link en el contexto de la industria 4.0.

Palabras Clave: Automatización, IO-Link, Industria 4.0, Sensórica,

ABSTRACT

At Universidad El Bosque, teaching in the field of sensorics has primarily focused on traditional sensorics, despite industry communication standards advancements not covered by the engineering program. This has created a knowledge gap in new protocols within sensorics. To address this deficiency, the implementation of an intelligent sensorics system that utilizes the IO-Link communication protocol was proposed. This system involves generic sensors and a Master/Slave component communicating via the IO-Link protocol with both analog and digital I2C sensors. This approach allows for real-time visualization of measurement variables.

Consequently, a functional prototype, along with laboratory guides and a user manual, has been provided for use in the sensorics course at Universidad El Bosque. This approach aims to enrich students' knowledge in various areas of sensorics and IO-Link technology within the context of Industry 4.0.

Keywords: Automation, IO-Link, Industry 4.0, Sensorics

GLOSARIO DE TÉRMINOS

COM: Velocidades de transferencia: COM1 (4.8 Kbauds), COM2 (38.4 Kbauds) y COM3 (230 Kbauds); Esto significa que hay diferentes velocidades de transferencia disponibles que se corresponden con el volumen de datos de cada dispositivo. Actualmente, la mayoría de los dispositivos IO-Link pueden funcionar con una velocidad de transferencia de 38,4 kbit/s (COM2)

i2C: Abreviatura del Inter-IC (Inter Integrated Circuits), protocolo que facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos, con cierto nivel de jerarquía, basta con dos líneas de señal y una Común, o tierra. [1]

IODD: IO-Link Device Description, es la identificación del dispositivo, donde se presentan características, de fabricante, vendedor, y las características propias del dispositivo.

Io- Link: Protocolo de comunicación que estandariza la tecnología de comunicación I/O (input/ output); Permitiendo una compatibilidad y conectividad con dispositivos externos por medio de un Master [2]

Master: Dispositivo principal, en un Modelo de comunicación física, donde este es capaz de controlar a uno o más dispositivos por medio de una comunicación bidireccional

MEM: componente esencial para la operación del sistema de sensores y facilita la manipulación a través de la interfaz hombre/máquina. Se han efectuado las modificaciones necesarias para que este componente tenga la capacidad de controlar, configurar y gestionar los diversos sensores que pueden conectarse al sistema.

Slave: Dispositivo secundario en un modelo de comunicación, encargado de recibir información, datos, órdenes, por medio de una comunicación bidireccional, donde puede informar, anomalías, datos etc.

LISTA DE ABREVIATURAS

1. IODD: IO-Link Device Description
2. COM: Communication Speed
3. [AP]: Autoría Personal

TABLA DE CONTENIDOS

Pág.

RESUMEN	
ABSTRACT.....	
GLOSARIO DE TÉRMINOS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1 Antecedentes y Estado del Arte	22
1.2 Descripción y Formulación del Problema	24
1.3 Justificación	25
1.4 Objetivos	26
1.4.1 Objetivo General	26
1.4.2 Objetivos Específicos	26
1.5 Alcance y Limitaciones del Proyecto	26
2. MARCO DE REFERENCIA	28
2.1 Marco Teórico o Conceptual	28
2.1.1 Sensorica Tradicional	28
2.1.2 IO-Link	30
2.1.3 IODD	31
2.1.4 Dispositivo Maestro (Master)	32
2.1.5 Dispositivo Esclavo (Device)	32
2.1.6 Capa de hardware.....	33

2.1.7	Capa de Software	34
2.1.7.1	Comunicación	34
2.1.7.2	Comunicación Cíclica.....	35
2.1.7.3	Comunicación Acíclica.....	35
2.1.8	Capa de Aplicación (MEMS Software)	35
2.2	Marco Legal o Normativo.....	35
3.	DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO.....	36
3.1	Requerimientos	36
3.1.1	Funcionales	36
3.1.2	Restricción	38
3.1.3	Calidad	40
3.2	Metodología del Diseño.....	40
3.3	Descripción Técnica del Producto	42
3.3.1	Proceso de selección Inicial	42
3.4	Diseño Detallado.....	44
3.4.1	Software	44
3.4.1.1	TMG TE (IO-Link-Device Software-TMG Technologie und Engineering GmbH).....	45
3.4.1.2	StMicroelectronics	46
3.4.1.3	Analog Devices.....	47
3.4.2	Hardware.....	49
3.4.2.1	Texas instruments	50
3.4.2.2	KUNBUS	51
3.4.2.3	STMicroelectronics-NUCLEO-IOD01A1	52
3.4.2.4	Analog Devices.....	53
3.4.2.5	RENE SAS.....	54
3.4.3	Sensor BMP280	59
3.4.4	Sensor ON OFF	60
3.4.5	Selección método de comunicación.....	61
3.5	Características IODD	62
3.6	Características MEM	63

4.	RESULTADOS	64
4.1	Archivo IODD	64
4.2	Diseño MEM.....	74
4.2.1	Librería de Sensores (BMP280_Driver.h)	75
4.2.2	Comunicación con Sensor	78
4.2.3	Comunicación con IO-Link	80
5.	PRUEBAS	81
5.1	Sensor ON OFF LJ12a3-4z/BY	82
5.2	Sensor Digital BMP280	83
6.	GUIAS DE LABORATORIO	86
6.1	Desarrollo Archivo IODD.....	86
6.2	Caracterización y librería del sensor.....	86
6.3	Integración y modificación Mems application	87
7.	ANALISIS DE RESULTADOS	88
7.1	Objetivos.....	88
7.2	Requerimientos	90
7.2.1	Funcionales	91
7.2.2	Restricción	98
7.2.3	Calidad	100
8.	CONCLUSIONES	102
9.	RECOMENDACIONES.....	104
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
11.	ANEXOS	108

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Selección de Software.....	8
Tabla 2. Selección de Hardware.....	35
Tabla 3. Requerimientos que se pueden cumplir.....	37
Tabla 4. Comparativa Compra Hardware.....	40
Tabla 5. Selección Sensor ON OFF	45
Tabla 6. Estructura Componentes IODD.....	62

ANEXOS

Tabla 7. Caracterización de Registros	A2
Tabla 8. Direccionamiento de parámetros	A2
Tabla 9. Coeficiente de filtro	A2
Tabla 10. Duración de Satand By	A2
Tabla 11. Modo de trabajo	A2
Tabla 12. Actualización bloque de datos	A2
Tabla 13. Habilidad Comunicación SPI	A2
Tabla 14. Codificación de unidades	A4

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Esquema sistema IO-Link[5]	11
Figura 2. Esquema sistema IODD	12
Figura 3. Caja negra del sistema	22
Figura 4. Caja negra Detallada	23
Figura 5. Descripción TMG TE	26
Figura 6. Descripción StMicroelectronics	27
Figura 7. Hardware Texas Instruments	30
Figura 8. Hardware Texas Instruments	31
Figura 9. Hardware Kunbus	31
Figura 10. Hardware StMicroelectronics	32
Figura 11. Hardware Analog Devices	33
Figura 12. Hardware Analog Devices	34
Figura 13. Hardware Rene SAS	34
Figura 14. BMP280	39
Figura 15. LJ12a3-4z/BY	41
Figura 16. Compuesto IODD[11]	43
Figura 17. Visualización IO Control Tool	46
Figura 18. Visualización IODD Checker Devicefunction	47
Figura 19. Visualización IODD vs Visualización Control Tool sección “Variable”	48
Figura 20. Visualización Control Tool default	49
Figura 21. Visualización Control Tool BMP280	51
Figura 22. Visualización IODD Checker BMP280	51
Figura 23. Visualización Control Tool Sección Sensores	52
Figura 24. Visualización Control Tool Sección Variables	52
Figura 25. Visualización Control Tool Sección Layout	53
Figura 26. Estructura MEM	54
Figura 27. Mapa de registros [6]	55
Figura 28. Conexión DI Control Tool	61

Figura 29. Visualización DI Control Tool Layout	62
Figura 30. Visualización IODD Checker Exitosa	62
Figura 31. Prueba conexión exitosa IODD	63
Figura 32. Prueba conexión exitosa IODD desde Control Tool Layout	64
Figura 33. Prueba conexión exitosa BMP desde Control Tool Layout	64
Figura 34. Prueba señal exitosa BMP (Presión) desde Control Tool Layout	66
Figura 35. Prueba exitosa protocolo IO-Link y BMP280 desde Control Tool	67
Figura 36. Prueba exitosa protocolo IO-Link y BMP280 desde Control Tool	68
Figura 37. Conector M12	68
Figura 38. Conexión DI sensor ON OFF	70
Figura 39. Comprobación de COMS BMP280	71
Figura 40. Comprobación de BMP280 Temperatura	72
Figura 41. Comprobación de BMP280 Temperatura + Grafica	72
Figura 42. Comprobación de BMP280 Presión	72
Figura 43. Comprobación de BMP280 Presión + Gráfica	73
Figura 44. Comprobación de sensor ON OFF y Digital	73
Figura 45. Comprobación visualización gráfica	74
Figura 46. Modo de trabajo	75
Figura 47. Comunicación Cíclica	75
Figura 48. Comunicación Acíclica	76
Figura 49. Comunicación Velocidades	76
Figura 50. Comprobación Versión IO-Link	77
Figura 51. Conectores estándar IO-Link M12	77
Figura 52. Conectores tarjeta Master	78
Figura 53. Interfaz H/M IO-Link Control Tool	79
Anexos	
Figura 54. IODD Control Tool	A1
Figura 55. IO- Link Viewer	A1
Figura 56. Cambios de variables IO Control Tool	A1
Figura 57. Selection de Variables	A1

Figura 58. Visualización Layout

A1

Figura 59. Comprobación conexión

A1

INTRODUCCIÓN

Las diferentes revoluciones industriales han traído consigo importantes avances en el desarrollo de procesos industriales, desde el uso de las máquinas de vapor, pasando por la introducción de la energía eléctrica, como también la automatización de estos. Desde inicios del siglo XXI, ha estado en curso a la 4ta revolución industrial, también llamada Industria 4.0, en la cual se da el primer paso para la integración de nuevas tecnologías, tales como IoT, AI, Computación en la nube o Big Data, así como también, la utilización de las tecnologías digitales, para mejorar la competitividad y el desarrollo de los procesos industriales. [3]

En el marco de la industria 4.0, surgen nuevas tecnologías en el área de sensórica tal como el protocolo IO-Link, este protocolo de comunicación punto a punto, permite la comunicación de información entre sensores y actuadores con los diferentes sistemas de control que se pueden manejar en un contexto industrial, este protocolo de comunicación permite mejorar la flexibilidad de los sistemas, la digitalización de la información y el intercambio de datos en tiempo real, con lo cual se logran realizar mediciones, acciones, configuraciones y diagnósticos, de manera remota, haciendo de los procesos industriales más eficientes.

En los últimos años, la Universidad El Bosque ha mantenido su enfoque en la enseñanza de la sensórica tradicional. Sin embargo, con el desarrollo de la industria 4.0 y la aparición de estándares como IO-Link, Profibus, EtherCAT, entre otros, que son cada vez más relevantes en el ámbito industrial. Desafortunadamente, estos protocolos no forman parte del programa de ingeniería de la Universidad El Bosque, lo que supone una brecha en el conocimiento que los nuevos ingenieros adquieren.

En este contexto, se propone la inclusión del estudio de este nuevo protocolo dentro del plan de estudios de la asignatura. Esta iniciativa representa una oportunidad invaluable para preparar a los futuros ingenieros con conocimientos actualizados y relevantes en el campo de sensórica e instrumentación, evitando así que enfrenten carencias educativas en esta área, por lo tanto, este proyecto propone un sistema de sensórica inteligente con componentes de

hardware y software basado en el protocolo de comunicación IO-Link. Este sistema permite implementar sensores genéricos con dicho protocolo, para enriquecer el aprendizaje en el área de sensórica de la Universidad El Bosque con el objetivo de implementar una nueva tecnología que permita a los estudiantes ampliar sus conocimientos en diferentes áreas de la sensórica.

Para esto se realiza la integración de un componente Master/ Slave, el cual se comunica a través del protocolo IO-Link entre ellos, con sensores genéricos, tanto analógicos como digitales, dichos componentes se comunican con el sistema Slave a través del protocolo I²C, este, por medio de la manipulación del componente Software se realiza la configuración y visualización de las variables de medición en tiempo real.

Se realiza la modificación de los componentes principales de la capa de software, MemsDriver y Memsapplication, de un stack de tipo comercial, con la finalidad de homologar sensores genéricos que posean tecnología I²C y hacerlos compatibles con el protocolo IO-Link, por consiguiente, una de sus partes importantes del protocolo es el archivo IODD, que al brindarle la información y características del dispositivo permite una compatibilidad efectiva con dicho protocolo.

Dada la necesidad de uso de un firmware stack para hacer uso de las funcionalidades de IO-Link, no es viable el desarrollo propietario de uno dadas las limitaciones de tiempo y alcance del proyecto, se encuentran comercialmente disponibles Stacks demostrativos los cuales, no permiten una manipulación completa, e incluso un uso de las características que puede brindar un stack de tipo comercial completo, limitando respuestas de sensores, comunicaciones entre dispositivos y master.

Dicho esto, se hace la entrega un prototipo funcional, para las sesiones de laboratorio en la asignatura de sensórica de la Universidad El Bosque, el cual se compone de un sistema físico que está conformado por un sistema Master/Slave IO-Link, así como también dos sensores, uno ON OFF y el segundo digital (I²C), dicho componente físico, se entrega con manual de usuario, para el desarrollo de la temática de sensórica para la industria 4.0 y protocolo IO-Link y unas guías de laboratorio con la intención de guiar al estudiante a la propia homologación del sistema con sus propios componentes.

Para concluir el dispositivo es un método didáctico para los estudiantes el cual permite la integración de sensores ON OFF, por medio del protocolo SIO, y por medio de I²C la integración de sensores digitales; al día de hoy el dispositivo presenta una conectividad exitosa por medio del protocolo SIO al momento de integrar un sensor de tipo inductivo al sistema, adicionalmente por medio de I²C se realiza de forma eficiente la detección de dos variables físicas, presión y temperatura con su respectivo valor crudo representado en hexadecimal y su valor real, en decimal y de esta manera su visualización en tiempo real.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes y Estado del Arte

El desarrollo e implementación de diferentes metodologías de automatización de proceso, ha sido uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de la humanidad, ya que han facilitado el avance en los procesos productivos. En cada una de las revoluciones industriales, ha traído consigo nuevas herramientas que han permitido mejorar los procesos de automatización en la industria. Unos de los estándares más utilizados, son los sistemas de transductores de señales analógicas, los cuales pueden llegar a transformar variables físicas (presión, temperatura, iluminación. Etc.) en señales, ya sean de voltaje de 0v a 10v o de corriente entre 4mA a 20mA.

Los sistemas de sensores que funcionan en base a voltaje, convierten las variables físicas del medio ambiente, en señales de voltaje que oscilan entre 0 voltios a 10 voltios, este es un sistema simple, que cuenta con una versatilidad tal que puede ser implementado en procesos industriales menores ya que entre sus desventajas están, la susceptibilidad a la interferencia electromagnética del medio, así como también, debido al rango de valores, que va desde los 0 voltios, puede causar inconvenientes para detectar fallas en el sensor, a su vez, este tipo de sensores tienen un mayor consumo energético y está limitado por distancia ya que la señal se puede ver disminuida por el cable que une los puntos extremos del sistema.

El estándar industrial más utilizado es el sistema de lazo de corriente el cual sus valores de medición oscilan entre 4mA a 20mA, este es el estándar más común, debido a las ventajas que presenta frente a los sistemas de control por voltaje. Al tener valores mínimos superiores al 0, resulta más sencillo ubicar fallas en los componentes físicos (Cable – Sensor), debido a que, si el lazo de corriente indica un paso de corriente menor a 4mA, indicaría que existe una interrupción en el suministro de energía o en la transmisión de datos del sensor. A su vez, al utilizar señales de corriente, hacen que los sensores de utilicen este sistema, sean menos susceptibles a la interferencia electromagnética, y también que el proceso de calibración sea más sencillo y preciso, al tener la posibilidad de medir los valores de corriente en el lazo.

Alrededor del internet, se buscó plataformas didácticas que permitieran el aprendizaje de io link, pero al ser una plataforma que está incursionando se encontró lo siguiente:

Al ser una herramienta creada en 2009, relativamente es considerada una herramienta que lleva poco tiempo en el mercado y sus diferentes fabricantes llevan consigo muchas alternativas para que el público cumpla con su cometido y es bajo cierta normativa (ISO 61131-9) la cual permite la comunicación de forma bidireccional, entre periféricos y controladores principales, como PLC's maestros, se presenta funciones de diagnóstico de la ejecución como averías en el sistema, facilitando la instalación y servicio, estas alternativas son usadas en un ámbito industrial, el cual necesita una variedad de máster y sistemas adyacentes para un uso en el cual se pueda sacar el mayor provecho a este protocolo; los estudiantes, Erick Galán y Fernán Silva, de la universidad Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de Ecuador, presentan en su trabajo de grado "Diseño e implementación de un sistema de diagnóstico de sensores inteligentes con el estándar IO-Link en ambientes agresivos." [3] una implementación y comparación de sensores IO-Link con sensores tradicional, con características similares entre ellos, siendo un ejemplo, IO-Link RTD y el sensor RTD, sensores de temperatura resistiva, comprobando si hay alguna diferencia de medición entre estos, logrando la compatibilidad de los sensores convencionales por medio del medio SIO, dado por el protocolo.

Su objetivo es aplicar ciertas condiciones extremas a los sensores para obtener una comparación de medición entre un sensor genérico y uno de IO-Link, trabajo muy parecido al de Vicente Mascaros Mateo, el cual en su documento "INTEGRACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES INTELIGENTES EN LA INDUSTRIA 4.0: LA TECNOLOGÍA IO-LINK", [4] en el cual busca mostrar su proceso de compatibilidad de un sensor PNP capacitivo, volverlo compatible con un PLC, y este ser aplicado el protocolo IO-Link. Vicente, menciona lo siguiente "la tecnología IO-Link es una interfaz abierta a los fabricantes y estandarizada internacionalmente que permite una perfecta comunicación y transferencia de datos desde el nivel de control hasta el nivel de campo, consiguiendo la integración de los sensores y los actuadores inteligentes en los sistemas de control y automatización industrial " en lo cual hasta cierto punto estamos de acuerdo; ya que se puede encontrar ciertas interfaces compatibles con el protocolo, pero algunas de ellas son pagas, otras con un fin más industrial, como el de Vicente, Fernán y Erick, dichas interfaces

no cumplen a cabalidad nuestros objetivos, debido que nuestro enfoque es más práctico y educativo, las interfaces que son enfocadas a nuestro proyecto y que se encuentran de manera libre al cliente, son versiones demostrativas, las cuales limitan el acceso a ciertas aplicaciones del protocolo, ya sea una comunicación bidireccional de estados de los sensores y una comunicación remota. Al igual que Frank y Erick, se decide hacer una compra para la adquisición de un master del protocolo IO-Link ellos con el Maestro IO-Link AL1110 y nosotros con la tarjeta de adquisición de datos STEVAL-IOD003V1, la cual junto a una tarjeta Núcleo F466RE y un stack brindado por los fabricantes hacemos la adquisición de la información del sensor I²C y el sensor ON OFF.

Para finalizar este segmento se puede decir que la información encontrada con respecto al protocolo y la integración de sensores genéricos, es más orientada a componentes que pueden ser usados en ámbitos industriales y de forma remota, o por parte de la comunicación SIO, que viene incluida en el protocolo, si se busca algo más completo para el desarrollo de las actividades se debe tener en cuenta el precio alto dado por los fabricantes.

1.2 Descripción y Formulación del Problema

Debido a su gran popularidad y tradicionalidad, el rango de 4-20mA en el ámbito de sensores se volvió un estándar, ya que permite una conexión sencilla, un cableado eléctrico que permite un fácil acceso y por ende un fácil mantenimiento, una gran precisión para controle complejos como lo es el PID dicho tema se convirtió en un tema el cual los nuevos estudiantes a lo largo de los años debían tener muy claro.

Sin embargo, a lo largo de los años han aparecido nuevas maneras de adquirir información a base de sensores y consigo unas nuevas maneras de evolucionar en el área de la sensorica ya sean nuevos protocolos de comunicación entre sensores y maestros, o incluso entre redes las cuales están la distancia dado que muchas academias busquen enriquecer sus áreas de conocimiento ya sea el ejemplo de la Universidad el Bosque quienes en en el área de sensorica, se busca implementar una nueva tecnología, que permita a los estudiantes

ampliar los nuevos horizontes de aprendizaje, dicho esto, se propone un sistema de master/Slave con protocolo IO-link, una tecnología creada en el 2009 que promete seguir en crecimiento a lo largo de los años, junto a una forma de adquisición de datos sencilla, conectividad “plug and play” en la cual se puede vincular un sin número de componentes compatibles para hacer parte de este protocolo.

Por consiguiente, se busca integrar la comunicación I2C con el protocolo previamente mencionado, como resultado se espera un prototipo didáctico en el cual los estudiantes pueden incluir sensores económicos de carácter genérico, que cuenten con comunicación I2C, con el fin de vincular estos dispositivos al protocolo IO-Link, permitiendo a los estudiantes generar una homologación, práctica, sencilla, y eficiente en el área de Sensorica, de la universidad El Bosque

1.3 Justificación

Debido al vacío de conocimiento que se crea al no implementar en clase una variedad de protocolos y basar el aprendizaje exclusivamente en la sensorica tradicional, hemos desarrollado guías de laboratorio con el objetivo de enriquecer la experiencia de aprendizaje de los estudiantes al introducir nuevos protocolos, como IO-Link. Estas guías están diseñadas para acompañar al estudiante en un proceso educativo más completo y práctico, permitiéndoles adquirir competencias y habilidades esenciales en el manejo de protocolos modernos en el campo de la sensorica.

La Sensorica tradicional de 4/20mA ha sido una de las fortalezas del área por lo largo de los años ya que su simplicidad y su robustez sigue siendo la primera opción para muchas áreas industriales, pero aun así se presentan varias áreas de mejora que se pueden encontrar en diferentes tipos de comunicación entre sensores y su respectivo maestro, al ser una comunicación tan sencilla persiste una dificultad en la detección de fallos del sistema, ya que la corriente puede mantenerse en un rango aparentemente normal, incluso este está indicando un fallo en el sistema.

Io-link propone un sistema el cual se pueda incorporar componentes de alta inteligencia a los dispositivos de campo, facilitando toma de decisiones y reducción del tiempo de inactividad en situaciones de alarma o averías, adicionalmente al ser un protocolo adoptado

por diferentes fabricantes brinda una flexibilidad de componentes que se pueden adquirir en el mercado.

Por consiguiente, se propone un prototipo didáctico de un sistema de sensórica usando el protocolo IO link, con fines académicos, compuesto por Master, un controlador y un dispositivo al cual se le podrá conectar vía un puerto universal en el cual se puedan conectar diferentes sensores que cuenten con este puerto.

Debido a que se busca ampliar el conocimiento en la asignatura, se propone un nuevo material de trabajo para el desarrollo de nuevos módulos en la Materia; estas guías de laboratorio permiten a los estudiantes en una forma guiada la integración de sensores genéricos al protocolo IO-Link.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo didáctico de sensores inteligentes basados en el protocolo Io- Link, para su uso en los laboratorios de sensórica.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema de sensórica inteligente (Sensor y Master) usando el protocolo Io-Link.
2. Implementar el sistema de sensórica inteligente (Sensor y Master) usando el protocolo Io-Link.
3. Realizar pruebas funcionales y ajustes necesarios al sistema de sensórica para la verificación del cumplimiento del estándar.
4. Desarrollar el manual de usuario con las respectivas características del equipo.

1.5 Alcance y Limitaciones del Proyecto

Se propone como entregable, un prototipo didáctico, de sensórica y su respectivo sistema de adquisición, por medio del uso del protocolo IO link, con fines académicos y didácticos para el programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad.

En cuanto a las limitaciones, la tecnología IO Link es relativamente reciente y su disponibilidad para el uso abierto aún está bastante limitada a las opciones comerciales, adicionalmente los servicios libres son facilitados por compañías las cuales distribuyen esta tecnología al por mayor.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco Teórico o Conceptual

El desarrollo de este proyecto de grado, pretende brindarle a la Universidad el Bosque, una herramienta para el desarrollo de nuevas temáticas en el área de sensorica, introduciendo conceptos innovadores tal como lo es el protocolo de comunicación IO- Link, para el desarrollo de nuevas aplicaciones mediante el uso de sensores inteligentes.

2.1.1 Sensorica Tradicional

A lo largo del tiempo se hace presente diferentes metodologías para la adquisición de variables físicas en sistemas embebidos y electrónicos, entre ellas el lazo de 4-20mA, un sistema sencillo y robusto que mediante el flujo de corriente de un periférico conectado a un maestro el cual adquiere las variables y se encarga del proceso de decodificarlas; Sistemas como 0-10v, presentan ciertas dificultades si se hace una comparación con las tecnologías que hay hoy por hoy, entre ellas se presenta una pérdida de tensión a medida que la distancia entre estos es mayor, debido a la resistencia de los mismos cables, sin embargo estas falencias hacen presencia en sistemas de bajo nivel, acercándose a los mV, problema que no sucede al tener un sistema de 4-20mA, ya que sin importar la distancia el lazo se mantendrá de cierta manera estable, aunque cada uno de los periféricos no pueden realizar alguna notificación al maestro, dificultando su proceso de reemplazo y mantenimiento

2.1.1.1 Sistemas de 0-10V

Es un sistema de sensorica de señales analógicas continuas, es decir que su señal puede tomar un valor entre el rango, eso sí, limitada entre los valores discretos, es muy usado en sensores de temperatura, presión y nivel; para hacer un uso de estos dispositivos se debe hacer la

inclusión de un dispositivo ON OFF digital, esto con el fin de convertir este valor dado de control, y es necesario agregar un acondicionador de señal.

2.1.1.2 Sistema de 4-20mA

El loop de corriente es un protocolo de corriente en bucle que oscila entre los 4-20mA, siendo un sistema de adquisición de variables muy usado a partir de la industria 2.0 muy usada en entornos industriales, es un sistema muy sencillo y robusto fiable a largas distancias, y con gran versatilidad al momento de compatibilidad con sistemas de control; este protocolo es muy usado para variables como; caudal, temperatura, nivel, entre otras; estas variables se convierten en un rango de corriente que varía entre los 4 y 20mA permitiendo la transmisión de información a través de este a un dispositivo de control o monitoreo.

2.1.1.3 Sensores PNP NPN

Estos tipos de sensores aparecen comúnmente en el área de automatización industrial, básicamente para detectar la presencia o ausencia de objetos durante un proceso, adicionalmente variables como velocidades y niveles; estos se diferencian en su conexión interna y lógica de salida, por ejemplo el NPN (Negativo-Positivo-Negativo), normalmente con alimentación positiva, dando como resultado a su salida un 0 lógico a diferencia de los PNP (Positivo-Negativo-Positivo) que a su salida se obtiene una salida 1 lógica.

Estos tipos de sensores permiten debido a su versatilidad una compatibilidad con diferentes controladores, como PLC, los cuales pueden ser compatibles con ambos tipos previamente mencionados.

2.1.2 IO-Link

IO-Link es un protocolo de comunicación punto a punto entre sensores y/o actuadores con sistemas centralizados de control y automatización industrial, los cuales se puede interconectar entre si por medio de buses de campo, red Ethernet e inclusive de manera inalámbrica, tal y como es mostrado en la Figura 1.

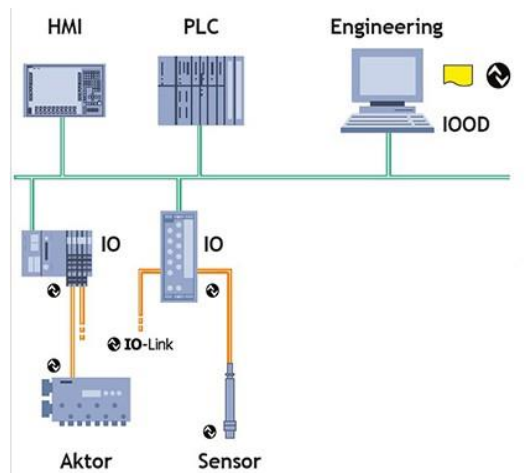


Figura 1. Esquema sistema IO-Link [5]

Los sistemas basados en el protocolo IO-Link, tienen como particularidad, la comunicación bidireccional entre Maestro y Esclavo, con lo cual se le proporciona al usuario una mayor capacidad de control, así como también mayor cantidad de información, tal como diagnóstico y configuración. La manera en la que los dispositivos, maestro y esclavo interactúan entre sí, por medio del protocolo IO-Link, se realiza mediante dos capas, una capa física y una capa de comunicación de datos, los cuales son de las características más importantes que destacan en IO Link.[6]

Una de las características más importantes de este protocolo es la capacidad de digitalización de las señales que se reciben desde sensores y actuadores analógicos tradicionales, para su posterior transmisión hacia los sistemas de control, utilizando cableados estándar, evitando la necesidad

de utilizar diferentes tipos de conexiones para los distintos dispositivos que se pueden conectar al sistema.[7]

Este protocolo de comunicación está definido en la norma IEC 61131-9, en donde se estandariza la interfaz digital de comunicación punto a punto para sensores y actuadores pequeños, en la cual se detallan las condiciones que debe cumplir un dispositivo para poder ser certificado como Compatible con IO-Link.

2.1.3 IODD

El archivo IODD de IO-Link es el acrónimo de IO-Link Device Description, es un archivo .XML, el cual posee la información básica de cualquier sensor que haga parte del protocolo IO-Link, en este código permite almacenar la información que será visualizada por los diferentes programas de IO-Link, El archivo IODD, en su estructura permite visualizar el las características de identificación, el nombre del fabricante, la velocidad de operación, las variables y unidades del dispositivo, Este archivo es invocado por el Master por medio de la capa de aplicación MEM, lo cual le permite al sistema la correcta identificación y uso del sensor, como se muestra en la Figura 2.

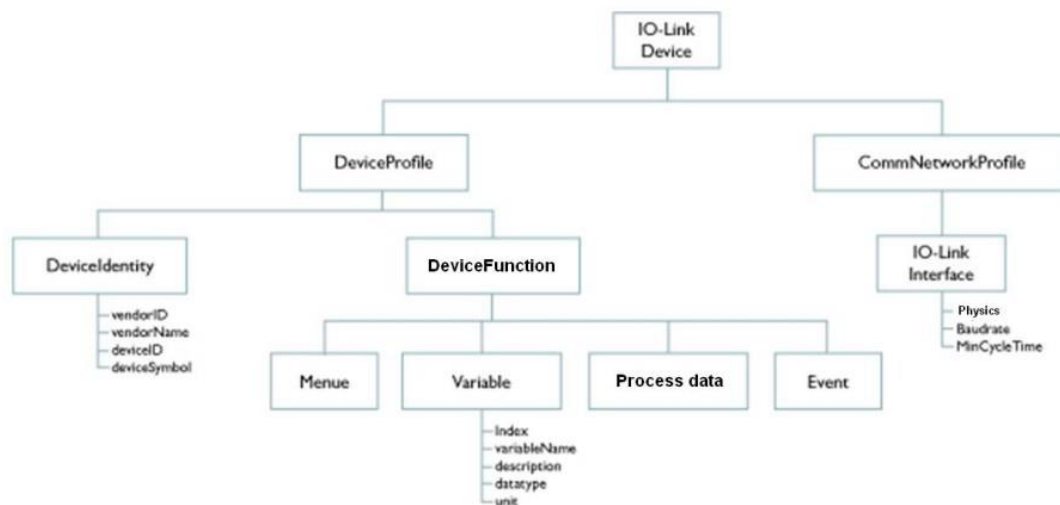


Figura 2. Esquema sistema IODD [8]

Este archivo tiene como característica la posibilidad de manipular las velocidades de comunicación acorde al dispositivo conectado, adicionalmente dependiendo de las variables que pueda leer el sensor, éstas pueden ser tanto habilitadas como deshabilitadas, así como se pueden hacer modificaciones en cuanto las unidades que están representadas las variables.

2.1.4 Dispositivo Maestro (Master)

El dispositivo Master de io link, funciona como una puerta de entrada para las señales que provienen desde los sensores y los actuadores por medio de una capa física como lo es el transceiver, el cual se encarga de hacer una traducción de los mensajes que intercambian dispositivos maestros y esclavos de io link, hacia los sistemas de control por medio de buses de campo.

El dispositivo maestro cuenta con diversos componentes tanto de Hardware como de software. En cuanto al Hardware, el dispositivo contiene un microcontrolador el cual contiene programación que habilita las habilidades que provee el protocolo IO link a su vez, también tiene un componente físico en este caso el transceiver, el cual es el que se encarga de realizar la comunicación física de las señales digitales entre el dispositivo maestro y los dispositivos esclavos.

2.1.5 Dispositivo Esclavo (Device)

El dispositivo esclavo de IO-Link es el que hace referencia a los sensores y/o los actuadores que se pueden comunicar con el sistema, el dispositivo esclavo cuenta también, como con los dispositivos maestros, con componentes tanto de Hardware como de software.

Así como con el dispositivo maestro, el dispositivo esclavo también posee dos componentes importantes de Hardware el microcontrolador y el transceiver, al igual que en el dispositivo anterior el microcontrolador contiene la librería del stack device sirve para la comunicación de los mensajes que intercambian los dispositivos maestros y esclavos.

Esta librería contiene las funcionalidades que permite el transceiver, con el cual logra la comunicación de la secuencia de mensajes entre maestro y esclavo, la cual está estipulada en la norma del estándar IO-Link.

2.1.6 Capa de hardware

La Capa física del protocolo IO-Link, está compuesta por:

- Cable de tres hilos, con apantallamiento, con el cual se proporciona alimentación (9V-36V), una línea de tierra, y la línea de transmisión de datos digitalizados (C/Q)
- Conectores estandarizados M8 o M12, para la interconexión entre el sistema maestro y los dispositivos esclavos.
- Transceiver IO-Link, es el circuito integrado, con el cual se permite realizar la comunicación entre los dispositivos maestro y esclavos, este componente se encuentra en ambos dispositivos que componen el sistema, el transceiver master es aquí que se encarga de realizar la comunicación hacia los sistemas de control y el transceiver esclavo, es aquel que se encarga de traducir la información del sensor/actuador, para realizar una secuencia de comunicación de datos, entonces el esclavo y el maestro, siguiendo los lineamientos de la norma (IEC 61131-9)
- Microcontrolador, en donde se ejecuta el stack software, tanto en dispositivos maestros como en esclavos, habilitando las capacidades del transceiver para la comunicación siguiendo la norma de transmisión de secuencias de mensajes que establece el estándar del protocolo.

2.1.7 Capa de Software

El IO-Link Stack software es una librería que contiene herramientas para la implementación del protocolo de comunicación y las funcionalidades que se detallan en el estándar (IEC 61131-9), este software permite:

- Perfiles para dispositivos esclavos, en el cual se definen los diferentes tipos de comunicación, que el protocolo permite siendo compatibles con los distintos tipos de dispositivos esclavos que se puedan comunicar con el centro de control maestro.
- Descripción de dispositivos esclavos por medio de un archivo de descripción IODD, en el cual se pueden parametrizar, configurar los dispositivos esclavos, así como también proveen la información para el monitoreo y diagnóstico de los mismos.
- Compatibilidad multiplataforma e Integración son sistemas de alto nivel, lo cual permite su fácil integración en sistemas industriales con sistemas de control de alto nivel tales como los PLCs, permitiendo la comunicación entre el protocolo IO-Link con otros protocolos de bus de campo, como lo es el TCP/IP

En el caso de este proyecto, se encuentran dos tipos de Stacks comerciales, el mas común que es de tipo industrial, la cual permite la utilización de la totalidad de funcionalidades que permite el protocolo, y también una versión demostrativa, con la cual se puede realizar una prueba básica de obtención de datos, incluyendo configuración e identificación del sensor.

2.1.7.1 Comunicación

Mediante la comunicación Maestro/Esclavo, el protocolo io link proporciona una comunicación bidireccional en serie para la transmisión de datos digitalizados, esto mediante dos modalidades

de transmisión y 3 velocidades de comunicación entre los dispositivos maestro y esclavo. (COM1 - 4.8kbaud, COM2 - 38.4kbaud, COM3 -230.4kbaud)

2.1.7.2 Comunicación Cíclica

La comunicación cíclica entre Maestro y Esclavo, se realiza cíclicamente, mediante requerimiento a los sensores/actuadores, continuas actualizaciones de estado para el intercambio y lectura de nueva información que provenga desde los diferentes dispositivos esclavos.

2.1.7.3 Comunicación Acíclica

La comunicación cíclica entre Maestro y Esclavo, se realiza cíclicamente, mediante requerimiento a los sensores/actuadores, continuas actualizaciones de estado para el intercambio y lectura de nueva información que provenga desde los diferentes dispositivos esclavos.

2.1.8 Capa de Aplicación (MEMS Software)

El MEMS Software representa la capa de aplicación, la cual se encarga de realizar la comunicación entre el usuario final, y los dispositivos IO Link. Esta capa de aplicación, es la que contiene las funciones necesarias, para lograr el intercambio de datos, la integración con diferentes dispositivos, así como también dar el vínculo por el cual el usuario puede hacer uso de las funcionalidades de los sensores, por medio de la comunicación de protocolo IO-Link.

2.2 Marco Legal o Normativo

Se hace presencia del estándar IEC 61131-9 el cual vela por una alta calidad en documentos, la independencia de las organizaciones para tener un soporte alrededor del mundo, con la intención de mantener un mundo electrónico bajo las mismas condiciones y de alta calidad, sin embargo se hace énfasis en el tipo de comunicación de forma bidireccional entre un maestro y sus periféricos, donde deben incluir funciones de diagnóstico, de ejecución etc.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO

Este capítulo contiene 3 secciones principales, Requerimientos, Implementación, y Pruebas, cada una de estas secciones están divididas y desglosadas por cada una de las etapas que propone este proyecto.

3.1 Requerimientos

3.1.1 Funcionales

Estos responderán a la pregunta ¿Qué hace el sistema? Pero de una forma más general se muestran las ventajas que el sistema frente a un sistema tradicional, aplicando el “*plug and play*” para poder obtener una intervención mínimo con el estudiante.

3.1.1.1 Permitir la conexión de 2 nuevos sensores. ON OFF y digital, 1 sensor analógico, y 1 sensor comunicado por I²C.

3.1.1.2 El sistema deberá permitir la creación del archivo IODD (IO-Link Device Description), el archivo debe contar con los datos mínimos requeridos tales como:

- A. Los parámetros necesarios de comunicación
- B. Parámetros del dispositivo
- C. Información de identificación del dispositivo
- D. Información de diagnóstico

3.1.1.3 El sistema deberá permitir trabajar en modos SIO y SDCI para lo cual el dispositivo, por HW o SW (perfil) permite indicarle al master su modo de trabajo:

- A. El sistema en modo SIO se deberá poder conectar un sensor tradicional tipo on/off; el cual por la línea C/Q, pin 4, enviará una señal 0VDC o 24VDC

- B. El sistema en modo SDCl, el dispositivo se comunicará con el máster a su velocidad determinada (COM1, COM2 o COM3) siguiendo los mensajes del estándar

3.1.1.4 Facilidad de modificar y cambiar el sensor, por medio de cambios en el archivo IODD y conectividad “plug and play”

3.1.1.5 Brindar información del estado del sensor y su diagnóstico

3.1.1.6 Mostrar variables físicas del sensor en su unidad, mediante una interfaz gráfica

3.1.1.7 El sistema será apto para sensores Digitales y ON OFF

3.1.1.8 Visualización (interfaz, hombre máquina) que se puede ver y hacer (Manipulación, Control y seguimiento del sensor, visualización de la variable de medición, parámetros de medición)

3.1.1.9 El sistema deberá permitir la conexión/desconexión de cualquier tipo de sensor (elaborado para el sistema) en caliente y configurarlo de manera remota desde un controlador principal.

3.1.1.10 El sistema deberá no solo permitir la carga de los parámetros de un dispositivo sino también el reconfigurar un dispositivo desde el controlador.

3.1.1.11 El sistema deberá indicar a todo momento el estado del sensor según su modo de trabajo.

3.1.1.12 El sistema deberá poder trabajar en mínimo los siguientes dos modos:

- A. **Comunicación cíclica:** medición continua en el cual en el controlador se debe indicar el valor de la medición del sensor en unidades correspondientes.

- B. **Comunicación acíclica:**

Modo de configuración: en este modo se permite el cambio de parámetros del dispositivo o lectura de parámetros del dispositivo.

- C. **Eventos:** notificaciones, alertas o errores.

3.1.1.13 El dispositivo deberá contar con un sistema para emular notificaciones, alertas o errores; y así poder demostrar el modo de comunicación acíclica modo eventos.

3.1.1.14 El sistema deberá permitir la demostración que el máster se puede conectar a la velocidad del dispositivo; es decir, el máster se deberá poder conectar en cualquiera de las tres velocidades del estándar.

3.1.1.15 Se deberá contar con el número de dispositivos necesarios a diferentes velocidades para demostrar el cambio de velocidad del máster o en su defecto contar con un dispositivo configurable en velocidad.

3.1.2 Restricción

Esto responde a la pregunta ¿Cómo lo hará el sistema? Esto dará las características del sistema físico para su elaboración y su integración de componentes, de estos requerimientos tenemos dos alternativas, las cuales se explicarán visualmente en el ítem número 4

- Opción 1

El dispositivo se divide en dos:

- A. Una parte que integra el conector del estándar, el transceptor IO-Link, protección, generación de voltaje.

- B. Una segunda parte la cual está compuesta por un microcontrolador el cual se conecta por SPI al anterior bloque y un sensor que se conecta al micro mediante una interfaz I²C

- C: el microcontrolador debe correr el stack de dispositivo, realizar la configuración del sensor según el archivo de parámetros, realizar lecturas del sensor y posibles señales de alerta

- Opción 2

El dispositivo se divide en dos:

- A. Una parte que integra el conector del estándar, el transceptor IO-Link, protección, generación de voltaje y el microcontrolador; este último deberá correr el stack de dispositivo, y deberá contar con un puerto I2C para comunicarse con el sensor.
- B. El sensor, el cual se comunicará con el bloque anterior mediante I²C.

A continuación, se mostrarán los requerimientos de tipo restrictivo sin embargo a diferencia de los previamente explicados, estos se enfocarán en sus características funcionales

3.1.2.1 El sistema deberá usar IO-LINK (1.1 o superior)

3.1.2.2 El / los dispositivos deberán trabajar a velocidades diferentes. (COM 1, COM2, COM3)

3.1.2.3 Los nuevos sensores se conectarán mediante protocolo I²C

3.1.2.4 Los conectores del sistema deberán ser los correspondientes al estándar (IO-Link IEC 61131-9)

3.1.2.5 El sistema deberá contar con 2 dispositivos (1 digital 1 ON OFFs)

3.1.2.6 El máster será para controlar un solo dispositivo a la vez

3.1.2.7 El protocolo deberá usar los 4 hilos para su comunicación (L+, L-, C/Q, I/Q)

3.1.2.8 El dispositivo debe funcionar a 24VDC que se entregan por las líneas L+ y L-. Cualquier voltaje adicional necesario se deberá generar localmente en el dispositivo.

3.1.2.9 El stack debe ser de tipo comercial y no desarrollado; no hay restricción sobre el fabricante, pero debe ser de licencia libre o demostración, pero sin fecha de expiración.

3.1.3 Calidad

Estas restricciones, van de la mano al resultado final que tiene el sistema y con qué eficiencia lo logra.

3.1.3.1 Visualización (interfaz, hombre maquina) que se puede ver y hacer

3.1.3.2 (Manipulación, Control y seguimiento del sensor, visualización de la variable de medición, parámetros de medición, diagnóstico del sensor)

3.2 Metodología del Diseño

Para el desarrollo de este proyecto, se desarrolla la siguiente metodología:

1. Se realiza una investigación detallada referente al marco teórico de los sistemas de sensorica, haciendo un enfoque particular con aquellos que basan su sistema de comunicación en el protocolo IO LINK, en esta investigación se incluye el análisis del Estándar IEC 61131-9, el cual detalla las características, componentes físicos y de software, así como también los requerimientos necesarios para que un sistema de sensorica pueda ser certificado.
2. Se ejecuta una fase exploratoria de tecnología, acorde a los hallazgos de la investigación teórica, para caracterizar las diferentes opciones de elementos de hardware y software, que actualmente se encuentran en el mercado, y las cuales se logren ajustar, tanto a las características mencionadas por el Estándar IO Link, así como también al alcance y limitaciones de la propuesta de proyecto.
3. Se procede a realizar el diseño conceptual, por medio de cajas negras, se definen los componentes principales del sistema que se plantea entregar al momento de la finalización del proyecto, este diseño, contiene la definición de los componentes principales que deben ser analizados en la siguiente fase.

4. Una vez realizado el diseño conceptual y con apoyo de la fase exploratoria de tecnología, se desarrolla el diseño detallado del sistema a presentar. Se realiza un análisis de las necesidades, alcances y restricciones, para realizar la selección de tecnología y componentes que se van a utilizar para el desarrollo de este proyecto.
5. Una vez se adquieren los componentes, se realizan pruebas de los componentes y software original para realizar un análisis del comportamiento de fábrica de los componentes, así como también para lograr un mayor entendimiento del tipo de integración, a la cual se quiere llegar. Para ello se realiza un análisis del comportamiento de los componentes, así como también de la arquitectura del software que el fabricante proporciona junto con el hardware.
6. Una vez realizado el estudio de los componentes originales, se procede a realizar la modificación de la capa de aplicación, creando la librería del sensor y realizando la integración, en la cual se realizan modificaciones en el código fuente de la capa de aplicación MEMS para que esta capa sea compatible con la librería que fue creada a partir de la caracterización del sensor a utilizar.
7. Una vez realizada la integración entre la capa de aplicación y la librería creada, se realizarán pruebas de integración entre el Master/Esclavo hardware, con el Sensor seleccionado. Entre las pruebas que se realizan, están la identificación y configuración, mediciones de datos, velocidades de trabajos, así como también la visualización de los datos de lectura.
8. Finalizadas las pruebas, se realiza una evaluación de cumplimiento de requerimientos, así como también se realiza una evaluación y validación de la calidad de la información que se logra obtener de la integración de los dispositivos IO-Link con los sensores analógicos y digitales.

3.3 Descripción Técnica del Producto

3.3.1 Proceso de selección Inicial

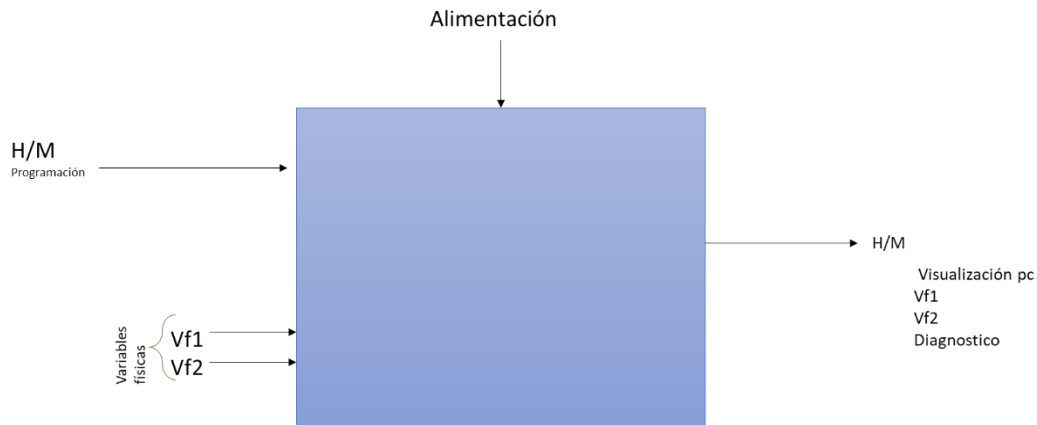


Figura 3. Caja negra Proceso del producto
[AP]

Principalmente se presenta un diagrama de caja negra (Figura 3.) en el cual presentamos una vista general de las entradas y salidas del sistema.

En la parte de entradas presenciamos lo siguiente:

- H/M, siendo la parte de comunicación entre hombre y máquina, la cual se logrará por medio de programación se obtiene cambio de modos, creación del perfil del dispositivo, se cambiará la velocidad de operación y se conocerá la variable que tenemos a disposición.
- VF1 VF2 son las variables físicas del sistema, una de ellas la cual será comunicada directamente al master y la otra se comunicará mediante I2C,
- Alimentación, como se pide en los requerimientos, el sistema debe ser alimentado, tanto el computador como el master
- En la parte de salida se obtiene una única salida de datos, debido a que buscamos la mínima interacción del sistema con el usuario.

- H/M, la interfaz hombre máquina en el papel de salida nos permite ver mediante la pantalla, cada una de las variables , el IODD, y sus características de codificación.

En la Figura 4. se muestran las posibles soluciones para obtener las entradas y salidas previamente explicadas .

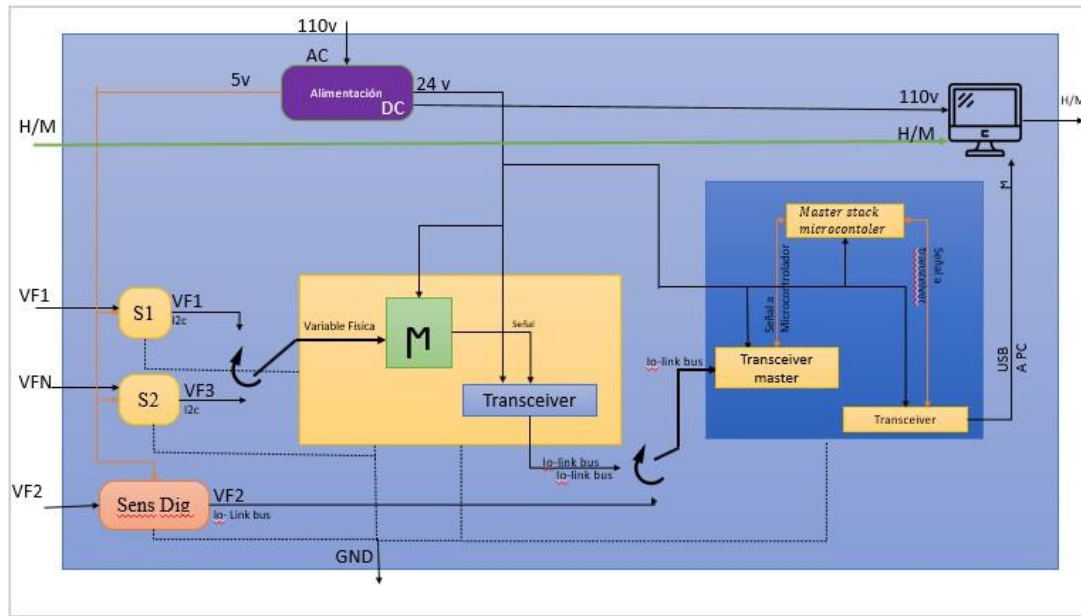


Figura 4. Caja negra Detallada [AP]

Este último diseño está conformado un conjunto de entradas que son:

La interfaz hombre máquina, que por medio de pantalla y teclado se podrá programar ciertos factores importantes como la velocidad de operación, al igual que la creación de un perfil para los dispositivos IODD, que brindará la información esencial de estos, se podrá manejar los modos de operación, y saber la variable que estamos midiendo.

En la parte central se tiene dos sensores con interfaz I2C, estos pueden intercambiarse por medio de la idea “plug and play”, ya que solo bastará una conexión por el ingeniero y así nuestro IO-Link device podrá administrar la información de cada uno de estos sensores de forma independiente.

El io-link device será el encargado de comunicarse con el Master stack por medio de su comunicación bidireccional en dado caso que uno de los sensores se encuentre en mal estado, poder proporcionar una alarma o señal para que el ingeniero esté al tanto y pueda intervenir

A su mismo nivel está el sensor digital el cual adquiere la señal directamente por su funcionamiento y es enviada por medio del bus io-link a nuestro Master Stack, cumpliendo con la idea de enviar la señal de la variable que medirá

En su parte central tenemos el master stack el cual se encargará de procesar toda la información para que cada ítem sea visualizado correctamente por la interfaz, acá el Máster sólo podrá manejar un dispositivo a la vez, es decir que, al momento de intercambiar el dispositivo, el máster será capaz de analizar el dispositivo de forma correcta dando la información correspondiente ya sea nuestro sensor digital, o nuestro dispositivo.

Así para completar este sistema se tiene un computador que bien se sabe que funciona como entrada principal de todo el sistema, este también será el final del todo el proceso de la adquisición y procesamiento de datos, ya que en este se visualiza mediante una interfaz el estado de nuestros componentes, que componente se están conectando y claramente su variable como factor principal de información.

3.4 Diseño Detallado

3.4.1 Software

La función principal del sistema es mostrar las ventajas de los sensores IO-Link sobre los sistemas tradicionales; en especial lo relacionado con la función “plug and play” y configuración remota desde el controlador con la menor intervención estudiante.

Según los requerimientos, se estipulo los siguientes enfocados para el software

- Modo de configuración: en este modo se permite el cambio de parámetros del dispositivo o lectura de parámetros del dispositivo.
- Eventos: notificaciones, alertas o errores.

- El dispositivo deberá contar con un sistema para emular notificaciones, alertas o errores y así poder demostrar el modo de comunicación acíclica modo eventos.
- El sistema deberá permitir la demostración que el master se puede conectar a la velocidad del dispositivo; es decir, el master se deberá poder conectar en cualquiera de las tres velocidades del estándar.
- Se deberá contar con el número de dispositivos necesarios a diferentes velocidades para demostrar el cambio de velocidad del master o en su defecto contar con un dispositivo configurable en velocidad.
- El sistema deberá permitir la creación del archivo IODD (IO-Link Device

Description), el archivo debe contar con los datos mínimos requeridos tales como:

- Los parámetros necesarios de comunicación
- Parámetros del dispositivo
- Información de identificación del dispositivo e Información de diagnóstico

Teniendo claro los requerimientos del sistema hablando en términos de software se procede a una búsqueda del sistema que se amolde más, a lo que se está buscando

3.4.1.1 TMG TE (IO-Link-Device Software-TMG Technologie und Engineering GmbH)

TMG TE, ofrece el software de Stack Device, aunque la información que proporciona al respecto es bastante superficial, siendo necesario contactar para poder recibir mayor información.

Entre las funcionalidades que se pueden evidenciar, dada la documentación , se encuentra lo siguiente:

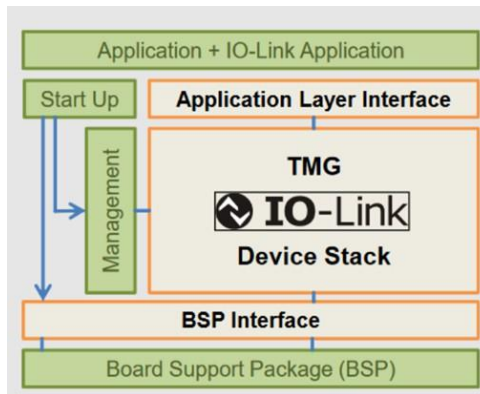


Figura 5. Descripción TMG TE

[9]

- IO- Link V.1.1.3 Library
- Funcionalidad Completa
- Compatibilidad Transceivers MAXIM
- Brinda poca información con respecto al tiempo de espera

3.4.1.2 StMicroelectronics

Al igual que TMG TE, el software que se proporciona cuenta con la librería de IO link Stack Device, así como también la estructura básica de aplicación para la utilización del Núcleo de Sensores y las funcionalidades básicas de IO Link. St también provee el archivo IODD de la tarjeta de sensores, así como también la herramienta control tool, la cual permite al usuario interactuar con el sistema.

Entre las limitaciones que se encuentran con esta solución, está la funcionalidad limitada del API que se provee, este al ser parte de un kit de evaluación, no provee todas las opciones que el Estándar IO link puede dar en una versión comercial.

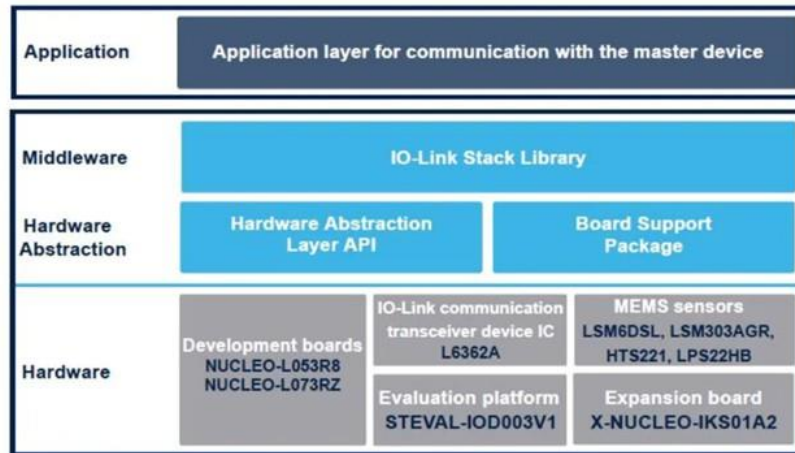


Figura 6. Descripción StMicroelectronics

[10]

Entre sus características principales se encuentra:

- Io Link V1.1.3 library
- aplicación demostrativa de tarjeta de sensores
- Archivo IODD tarjeta de sensores
- Compatibilidad para Transceiver 6362A (Device)
- Comunicación entre Stack y aplicación vía API
- Funcionalidades limitadas dado el API TEConcept

3.4.1.3 Analog Devices

La opción de analog Devices, es bastante similar a la que ST proporciona, entre las diferencias que se pueden encontrar entre ambas opciones está el hardware que se utiliza, dado que el stack que se proporciona es también de TEConcept.

El software que se proporciona con este kit de evaluación es la misma librería de ST aunque con la diferencia de la Aplicación demostrativa, siendo analog la opción más restringida, ya que el stack se encuentra quemado en la tarjeta al momento de la compra.

A su vez, dadas las descripciones que son dadas, se puede ver que no se dan todas las funcionalidades, una de las más importantes es la imposibilidad de utilizar 3 modos de comunicación, ya que esta opción solo nos permite COM2 Y COM3.

Sus características, se pueden resumir en:

- Basic TEConcept Device Stack software
- Compatible con transceiver DC2227A de Analog Devices
- COM2 y COM3
- incluye tarjeta de sensores
- No posee aplicación demostrativa

Tabla 1. Selección de Software

Fabricante	Software	Modo de Config	Eventos	Sistema Grafico	Velocidades	IODD
TMG TE	TEConcept	V 1.1.3	NO	NO propio	no especifica	SI
ST M	TEConcept	V 1.1.3	NO	SI	COM (1,2,3)	SI
ANALOG	TEConcept	no esecifica	NO	NO	COM (1,2,3)	NO

Debido a la cantidad de información disponible, así como también el tipo de soporte que se encuentra, se decide escoger la opción de ST Microelectronics.

Esta opción nos permite mayor control sobre los cambios necesarios para poder adaptar distintos tipos de sensores por comunicación I2C, así como también, permite un mayor rango para la modificación caracterización de sensores por fuera de la tarjeta X-núcleo

3.4.2 Hardware

Las tarjetas de desarrollo son aquellas que poseen el protocolo IO- Link, por el cual se realiza la comunicación entre los sensores mediante la homologación de las variables correspondientes a su fabricante y su Firmware, según la sección de requerimientos, queda estipulado que:

- El sistema deberá permitir la conexión/desconexión de cualquier tipo de sensor (elaborado para el sistema) en caliente y configurarlo de manera remota desde un controlador principal.
- El sistema deberá no solo permitir la carga de los parámetros de un dispositivo sino también el reconfigurar un dispositivo desde el controlador.
- El sistema deberá indicar a todo momento el estado del sensor según su modo de trabajo.
- El sistema deberá poder trabajar en mínimo los siguientes dos modos:
 - Comunicación cíclica: Medición continua en el cual en el controlador se debe indicar el valor de la medición del sensor en unidades correspondientes.
 - Comunicación acíclica: Continuas actualizaciones de estado para el intercambio y lectura de nueva información que provenga desde los diferentes dispositivos esclavos.
- El sistema deberá permitir trabajar en modos SIO y SDCI para lo cual el dispositivo, por HW o SW (perfil) permita indicarle al master su modo de trabajo
 - El sistema en modo SIO se deberá poder conectar un sensor tradicional tipo on/off; el cual por la línea C/Q, pin 4, enviará una señal 0VDC o 24VDC.
 - El sistema en modo SDCI, el dispositivo se comunicará con el master a su velocidad determinada (COM1, COM2 o COM3) siguiendo los mensajes del estándar.

Por lo anterior se hace una búsqueda de las tarjetas de desarrollo que cumplan con estas características, teniendo en cuenta nuestra restricción del Stack brindado por el fabricante.

3.4.2.1 Texas instruments

TIDA-010016 (full device)

Es una tarjeta de 8 puertos compatibles con el protocolo de IO-LINK, OPC ua, Profinet, EtherCAT, Ethernet IP; Es capaz de manejar 3 velocidades, COM1 (4,8 Kbauds), COM2 (38,4 Kbauds) y COM3 (230,4 Kbauds)

Bajo el estándar IEC61850 de industrias, es compatible con TIL111- TIOL 112- Io Link device transceiver. Sin embargo el fabricante aconseja la construcción de la tarjeta con los componentes dados por ellos mismos.



Figura 7. Hardware Texas Instruments

[11]

TMDSIDK437X (Master Device)

Es la tarjeta Master, la cual es programable en tiempo real, el fabricante aconseja el uso de esta tarjeta para uso industrial, este posee entrada para sensores digitales, y ON OFFs, Salidas de comunicación industrial, óptimas para comunicarse a PLC/PAC por medio de EtherCAT este kit de desarrollo se puede encontrar con Transceivers AM 4379 AM 4377 AMIC 120, compatibles con TIL111, integrados programables en tiempo real.



Figura 8. Hardware Texas Instruments 2 [11]

3.4.2.2 KUNBUS

Es la tarjeta Master, la cual es programable en tiempo real, Fabricante asegura un mejor desempeño en el área industrial a base del CC265x de Texas instruments Wireless MCU LaunchPad siendo Compatible con AM 4379 TRANSCEIVER manejando un Software GmbH TeConcepts

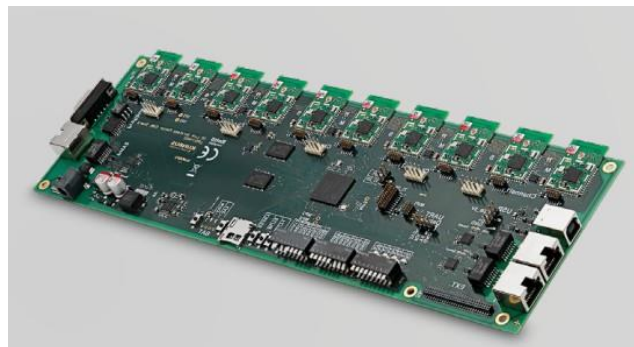


Figura 9. Hardware Kunbus [12]

3.4.2.3 STMicroelectronics-NUCLEO-IOD01A1

Software TeConcepts

X-NUCLEO-IKS01A2 Características entre ellas:

- LSM6DSL 3D acelerómetro y 3D giroscopio
- LSM303AGR 3D acelerómetro and 3D magnetómetro
- LPS22HB Sensor presión
- HTS221 Sensor capacitivo de humedad y temperatura
- DIL 24 espacio adicional para un adaptador MEMS y otros sensores
- Gratis firmware, library y ejemplos para cualquier sensor compatible con STM32Cube firmware, posee L6362A TRANSCEIVER su versión de IO-Link es v1.1.3 sensor software STM32 Núcleo/paquete IO-Link multi-sensor device con Stack v1.1.3 adicionalmente es capaz de manejar 3 velocidades, COM1, COM2 y COM3

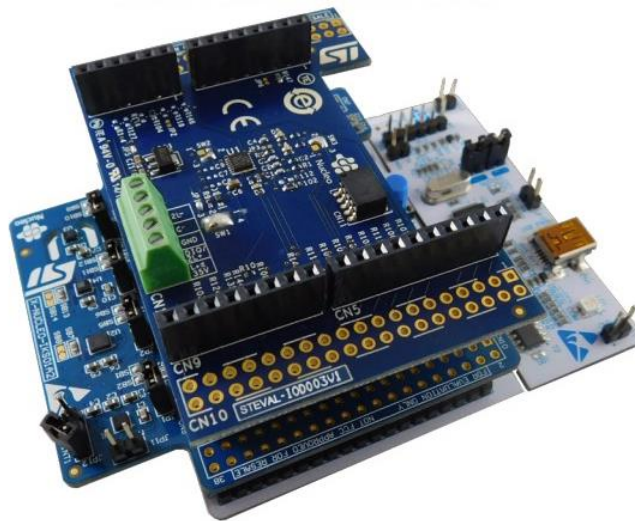


Figura 10. Hardware STMicroelectronics [13]

3.4.2.4 Analog Devices

Analog Devices (DC2228A)

El software es proporcionado por TeConcepts esta tarjeta compatible con el estándar (IEC 61131-9) con la bidireccionalidad de la comunicación entre sensores y tarjeta.

Es una tarjeta que posee 8-Port IO-Link Master Reference Design. cuyo transceiver puede ser LTC2874, LT3669-2, LT4275A, IO-Link v1.1 Protocol Stack and Control Tool.

IO-Link 8-Port PoE-Master with LTC2874



Figura 11. Hardware Analog Devices

[14]

DC2227A

Tarjeta compatible con el estándar (IEC 61131-9) con la bidireccionalidad de la comunicación entre sensores y tarjeta posee un LT3669-2 compatible con IO-Link v1.1 physical interface (PHY)

Cuenta con un solo puerto compatible con dispositivos IO-link, posee un sensor de temperatura LTC29977 y es capaz de manejar 3 velocidades, COM1, COM2 y COM3 este cuenta con el chip T3669-2 que es el Transceiver.

·Link Device Evaluation Board LT



Figura 12. Hardware Analog Devices [15]

3.4.2.5 RENE SAS

(RZ/N1S IO-Link Master development kit)

El fabricante aconseja el uso de los dispositivos de forma industrial gracias a su posibilidad del remote I/O aplicado para PLC, ya que su Software es proporcionado por TMG TE permite la integración de diferentes componentes como MPU con 500 MHz Cortex-A7, 125 MHz Cortex-M3, 6 MB de memoria RAM, Acelerador para comunicación Ethernet industrial (motor R-IN), interruptor Ethernet de 3 puertos, controlador EtherCAT esclavo, etc. Pero no especifica COMS.

El fabricante aconseja usarlo en términos industriales ya que está compuesto por Microprocesadores optimizados para PLC y HMI pequeños; reduce componentes periféricos y es adaptable para puertas de enlace y concentradores de sensores.

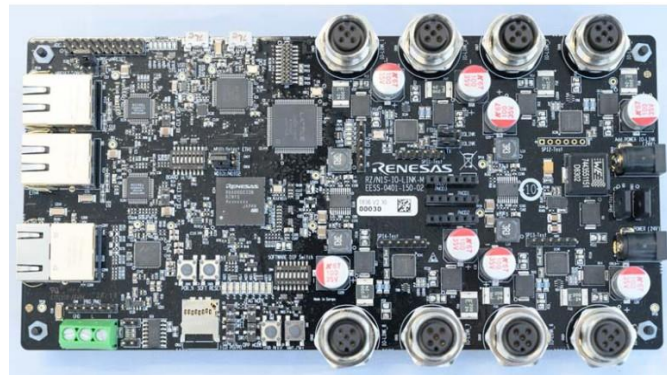


Figura 13. Hardware Rene SAS [16]

NOTA: IEC 61850 es un estándar para la automatización de subestaciones según “International Electrothecnical commissison ”

A Continuación, se presenta una tabla comparativa con las características de cada una, en una comparativa, según los requerimientos.

Tabla 2. Selección de Hardware

Fabricante	Referencia	Velocidades	IEC	Software
Texas Instruments	TIDA-010016	COM 1,2,3	61131-9	TEConcept
	TMDSIDK437X	COM 1,2,3	61850	TEConcept
Kunbus	CC2650	COM 1,2	61131-9	TEConcept
StMicroelectronics	P-NUCLEO-IOD01A1	COM1,2,3	61131-9	TEConcept
Analog Devices	DC2228A	COM1,2,3	61131-9	TEConcept
	DC2227A	COM1,2	61131-9	TEConcept
Renesas	RZ/N1S IO-Link	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	TMG TE

Fabricante	Transceiver	IO- Link Versión	Sensores adicionales	Uso dado fabricante
Texas Instruments	TIOL111	Stack v1.1	NO	INDUSTRIAL
	AM4379 AM4377 AMIC120	Stack v1.1.3	NO, PERMITE AGREGAR	INDUSTRIAL
Kunbus	AM4379	Stack v1.1.3	SI	INDUSTRIAL WIRELESS
StMicroelectronics	L6362A	Stack v1.1.3	SI	DEMO
Analog Devices	LT3669-2	Stack v1.1	NO	DEMO
	LT3669-2	Stack v1.1	SI	DEMO
Renesas	No especifica	Stack v1.1	SI	INDUSTRIAL

De la siguiente tabla, se puede considerar que las tarjetas presentadas, son aquellas del mercado que cumplen en términos generales los requerimientos, ya que todas comparten el mismo stack el siguiente filtro que se tiene en consideración es la capa de aplicación ya que es lo que nos permite modificar el Firmware, generando un listado de limitaciones nombradas a continuación

1. El sistema deberá permitir la conexión/desconexión de cualquier tipo de sensor (elaborado para el sistema) en caliente y configurarlo de manera remota desde un controlador principal.
2. El sistema deberá no solo permitirá la carga de los parámetros de un dispositivo sino también el reconfigurar un dispositivo desde el controlador.
3. El sistema deberá indicar a todo momento el estado del sensor según su modo de trabajo
4. El sistema deberá poder trabajar en mínimo los siguientes dos modos:
 - 4.1 Comunicación cíclica: medición continua en el cual en el controlador se debe indicar el valor de la medición del sensor en unidades correspondientes.
 - 4.2. Comunicación acíclica
 - 4.3. Modo de configuración: en este modo se permite el cambio de parámetros de dispositivo o lectura de parámetros del dispositivo.
 - 4.4 Eventos: notificaciones, alertas o errores.
5. El sistema deberá permitir trabajar en modos SIO y SDCI para lo cual el dispositivo, por HW o SW (perfil) permita indicarle al master su modo de trabajo
 - El sistema en modo SIO se deberá poder conectar un sensor tradicional tipo on/off; el cual por la línea C/Q, pin 4, enviará una señal 0VDC o 24VDC.
- 5.2 El sistema en modo SDCI, el dispositivo se comunicará con el master a su velocidad determinada (COM1, COM2 o COM3) siguiendo los mensajes del estándar

Tabla 3. Requerimientos que se pueden cumplir

REQUERIMIENTO	CUMPLE
1	SI, CON RESTRICCIONES
2	NO ES POSIBLE
3	SI
4.1	SI
4.2	SI, CON RESTRICCIONES
4.3	SI, CON RESTRICCIONES
4.4	SI, CON RESTRICCIONES
5.1	SI, CON RESTRICCIONES
5.2	SI
5.3	SI

En la tabla 3 se presenta un resumen de los requerimientos que se presentaran inconvenientes de desarrollarlos, de tipo restrictivo o incluso uno de ellos será imposible cumplir debido a las limitaciones del stack.

Seguido de la búsqueda, el fabricante de ST Microelectronics P-NUCLEO-IOD01A1 es la tarjeta que tiene menor limitación, teniendo en cuenta que se tienen algunas restricciones, debido a que el stack, es un demo y sus características de funcionamiento están limitadas.

Se presenta una justificación breve de los requerimientos que se cumplen con cierta restricción, y aquel que no es posible cumplir

1. Debido a que el stack es demostrativo, permite únicamente el manejo de los sensores desde un ordenador local, adicionalmente, el archivo IODD debe estar ligado directamente con el sensor, antes de la conexión de este a la tarjeta.
 2. El archivo IODD modificado debe ser cargado previamente antes de la conexión al device no durante el uso de la interfaz.
- 4.2. Debido a que el demo no tiene la funcionalidad completa la comunicación será en una sola dirección.

4.3. El Software solo permite ser observador, a diferencia del Stack completo que permite la visualización, como observador, mantenimiento y especialista.

4.3. Los parámetros serán cambiados previo a la vinculación del sensor a la tarjeta, no en caliente.

4.4. debido a que la comunicación será en una sola dirección, el sensor no tendrá la posibilidad de comunicarse

5.1. Al ser el stack demo, no permite identificar su modo de trabajo, ya que solo será usado en modo observador

Finalmente se tiene en cuenta el presupuesto que se tiene para el desarrollo del producto, siendo así un factor determinante para la selección de estas tarjetas.

Tabla 4. Comparativa Compra Hardware

Fabricante	Compra Online	Precio COP
Texas Instruments	SI, POR PARTES	N/s,
	SI	\$1'417.831
Kunbus	NO	N/A
ST Electronics	SI	\$269.428
Analog Devices	SI	\$2'753.958
	SI	\$1'720.027

Dicho esto, se puede considerar la tarjeta fabricada por StMicroelectronics para el desarrollo del producto ya que es la cual se ajustaba al presupuesto, cumplía con los requerimientos en su mayoría teniendo en cuenta las limitaciones del Stack y su capacidad de agregar más dispositivos a esta, adicionalmente se considera un valor agregado el hecho de poseer sensores

como, giroscopio, acelerómetro, temperatura, presión y humedad para la realización de distintas pruebas

3.4.3 Sensor BMP280



Figura 14. BMP280

La tarjeta X-NUCLEO-IKS01A2 que está en conjunto en la tarjeta P-NUCLEO-IOD01A1, posee 5 sensores, humedad, temperatura, presión, giroscopio y acelerómetro.

Se decide usar este sensor de presión (y temperatura) ya que las variables son las mismas que se poseen en el IODD del Fabricante directamente con el LPS22HB,[20] por esto al momento de hacer la homologación, se puede hacer de una forma más sencilla, este es un sensor de presión dado por el fabricante BOSCH, el sensor tiene la capacidad de trabajar mediante dos protocolos de comunicación, el I2C y el GPIO, el protocolo de comunicación que se usará en la interfaz hombre máquina es I2C, el mismo que usará la tarjeta para comunicarse con la tarjeta X-NUCLEO-IKS01A2

Se ha decidido utilizar el sensor de presión (y temperatura) BMP280 en lugar del LPS22HB. El motivo de esta elección se debe a que el BMP280 ofrece las mismas variables que se encuentran en el IODD del fabricante de manera directa.

Esta coincidencia simplificará el proceso de homologación. El sensor BMP280, fabricado por Bosch, cuenta con la capacidad de trabajar con dos protocolos de comunicación: I2C y GPIO.

En este caso, se utilizará el protocolo de comunicación I2C en la interfaz hombre-máquina, así como en la comunicación entre la tarjeta y la tarjeta X-NUCLEO-IKS01A2.

3.4.4 Sensor ON OFF

El sensor ON OFF el cual se usará, de por sí posee sus propias restricciones, una de ellas y la más importante al momento de seleccionar es el tipo de configuración que se debe tener, ya sea PNP o NPN, según el fabricante, su compatibilidad se limita a un tipo, siendo el PNP la limitación principal en la selección de este sensor, sin embargo su segunda restricción es ser un sensor, el cual sea resistente a picos de voltajes altos, debido a que la tarjeta master, por la línea L+, la cual se encarga de la alimentación tanto del sistema como del sensor, dicho esto, la tarjeta Master será alimentada en un rango de 22V a 32V voltajes que debe tolerar el sensor, y para terminar sus restricciones, se exige que sea un sensor el cual posea 3 cables, la alimentación, que será dado por L+, su respectiva tierra o neutro en GND, y su cable de señal siendo CQ, el cual se encarga de comunicarse con el protocolo; dicho esto se ponen en cuestión referencias inductivas y capacitivas ya que al momento de buscar estas características mencionadas, estos tipos de sensores son los de mayor facilidad de compra y acceso hojas de fabricante detalladas.

Tabla 5..Selección Sensor ON OFF

Sensor	Característica	# cables	precio
LJ12a3-4z/BY	inductivo	3	\$ 28.092
40HK15	capacitivo	2	\$151.407
1WVP1	capacitivo	2	\$379.164
1EXR2	inductivo	3	\$284.373

En la tabla 4 se presenta las referencias de los sensores que cumplen con los requerimientos previamente mencionados, se escoge el LJ12a3-4z/BY, debido a que es el que cumple con esto y su precio y tiempos de entrega favorecen ante sus competidores, adicionalmente se toman en

cuenta las siguientes características para su selección el sensor debería tener menor posibilidad de contacto frente al estudiante, se busca también el factor monetario influye ya que si se presenta la situación de un cambio este factor no sea determinante para no adquirirlo.



Figura 15. LJ12a3-4z/BY [17]

Este sensor de tipo inductivo LJ12a3-4z/BY, mostrado en la figura 15, permite la detección de objetos metálicos en un rango de 4 mm, siendo un sensor de tipo ON/OFF, envía su señal de tipo 1 lógico en dado de detectar un objeto y un 0 cuando no detecta, ya que es un sensor sin contacto permite una longevidad en su uso, es muy poco susceptible al polvo y al agua, lo cual lo pone en ventaja ante sus competidores de tipo óptico y mecánico.

3.4.5 Selección método de comunicación

La comunicación I2C, es un método de comunicación de datos en un sistema electrónico, en el mercado se pueden conseguir diferentes tipos de comunicación, entre ellos la GPIO, SPI, pero a continuación se mencionan ciertas características importantes de la comunicación I2C para ser la cual es la seleccionada.

Frente a la comunicación Gpio, la comunicación I2C, facilita la comunicación con varios dispositivos, atraves del mismo bus, ya que cada dispositivo contiene una dirección única y la información puede llegar a cada una sin ningún inconveniente, esto reduciendo la cantidad de cable usado por dispositivo, ya que sus pines SDA y SCL, simplifica la conexión de cada uno de los dispositivos.

Agregando que su velocidad de comunicación es ajustable, o graduable debido a su pin SCL, esta puede ser adaptada a las características de cada dispositivo, siguiendo los requerimientos de cada proyecto, sin embargo hay que destacar, que otros métodos de comunicación, como SPI, manejando una excelente velocidad de transferencia de datos.

Finalmente se decide usar el método de comunicación I2C, debido a que este en diferentes tipos de dispositivos se encuentran soporte de está, es decir que muchos microcontroladores y microprocesadores ofrecen una amplia biblioteca de librerías compatibles con este.

3.5 Características IODD

Los dispositivos de entrada/salida (IO) se describen mediante una descripción de dispositivo. Esta consta de un conjunto de archivos XML (texto) y archivos PNG (gráficos). Estos archivos contienen información acerca de la identificación del dispositivo, características de comunicación, parámetros, datos de proceso y datos de diagnóstico.

El archivo se puede dividir en estas secciones.

Device Identity, Profile Body, Process Data, visualizadas respectivamente de derecha a izquierda

- **Device Identity:**

Esta sección es de identificación del dispositivo, tanto de su información, características como de sus funciones, variantes, y unidades de este, información del fabricante y distribuidor, contiene archivos .png linkeados para completar la visualización del dispositivo.

- **Profile Body**

Sección dedicada a llamar la información del Device Identity, agregando las funciones prácticas del dispositivo, ya sea en qué forma queremos ver las variables, la unidad de medida, y adicionalmente, muchos cambios generados acá permiten una visualización en el IODD Control Tool.

- Process Data

Esta etapa final se finalizan los detalles de las variables a medir, según el dispositivo, ya sea la forma en la cual se desea ver el valor crudo, y normal, adicionalmente su forma de visualización en gráfica

3.6 Características MEM

El software aplicativo, el cual es proporcionado por el fabricante consta de 3 grandes componentes:

Stack IO LINK: este es el componente principal del sistema, es aquel que contiene la programación pertinente para lograr la comunicación entre el Master y el Device siguiendo las normas del estándar. Este componente se mantiene tal como lo entrega el fabricante, ya que este, al ser propietario, no permite el acceso al código fuente e impide cualquier tipo de manipulación.

Librerías Drivers Sensores: este componente se desarrolla para cada uno de los sensores digitales que se quieran usar. Por medio de la documentación técnica del sensor seleccionado, se realiza el desarrollo completo de la librería en formato heder de código C, en cual se realizan las definiciones de las variables y las estructuras necesarias, para el correcto uso y configuración de los registros internos del sensor.

Mems Application & Driver: Este componente es aquel que permite la manipulación del sistema de sensórica por medio de la interfaz hombre/máquina, para este componente se realizan las modificaciones pertinentes para que sus funciones puedan manipular, controlar y configurar los diferentes sensores que se pueden conectar al sistema.

4. RESULTADOS

En este capítulo se muestra un proceso basado en la metodología del desarrollo de un sistema didáctico compuesto por un Device el cual permitirá la conexión de sensores adicionales, ya sean ON OFFs o digitales que se comuniquen por medio del protocolo IO-Link con el objetivo de implementar el protocolo IO-Link a las clases de sensorica de la universidad El Bosque.

4.1 Archivo IODD

Device Identity

Esta sección encapsula la información base del sensor, como el número del fabricante, quien es fabricante, según esta, que numeración le tiene al dispositivo, también se adquiere el llamado a ciertos archivos linkeados que deben acompañar el IODD, como son las imágenes del dispositivo y del fabricante.

```
<DeviceIdentity vendorId="259" vendorName="VIDAL NARINO" deviceId="88"> <!--CAMBIO NOMBRE y cambio id -->
  <VendorText textId="TI_VendorText" />
  <VendorUrl textId="TI_VendorUrl" />
  <VendorLogo name="VIDALNARINO-logo.png" /> <!--CAMBIO NOMBRE ARCHIVOS LINKEADOS-->
  <DeviceName textId="TI_Device_Name" />
  <DeviceFamily textId="TI_DeviceFamily" />
  <DeviceVariantCollection>
    <DeviceVariant productId="1" deviceIcon="VIDALNARINO-BMP280-icon.png" deviceSymbol="VIDALNARINO-BMP280-pic.png">
      <Name textId="TI_Device_1_Name" />
      <Description textId="TI_Device_1_Description" />
    </DeviceVariant>
  </DeviceVariantCollection>
</DeviceIdentity>
```

Para estos cambios se deben seguir ciertas características para que el código no genere conflictos al momento de salvar la información, a continuación, en la tabla 6, se presenta la forma correcta de la estructura de los componentes del device Identity.

Nombre	Función	Estructura	Detalles
Archivo	Nombrar el IODD	<VendorName>-<DeviceName>-<YYYYMMDD>-IODD < versión >.XML	
Logo	Foto	<VendorName><logo>.png	160 x 90 px
Icon	Foto Fabricante	<VendorName><logo>.png	Imagen PNG
Device	Foto Dispositivo	<VendorName>-<DeviceName>-pic.png	Imagen PNG

Este primer cambio se ve muy reflejado en el IO-Link, control tool, al momento de seleccionar un nuevo dispositivo, como se muestra a continuación en la figura 17.

Device selector




Device variants
 1

Languages
 en

Device basic data
 Vendor: UEI Bosque
 Device: Sensor BMP280
 Vendor ID: 259
 Device ID: 88
 FW Upgrade: Not Supported
 BLOB Transfer: Not Supported
 Description: Sensor I2C. Presion temperatura



IO-Link data
 Bitrate: COM3
 IO-Link version: V11
 MinCycle time: 12800
 SIO mode: True



IODD data
 IODD: VIDALNARINO-BMP280FULL-20230910-IODD1.1
 Release date: 2023-09-10
 Document version: V1.0

Figura 17. Visualización IO Control Tool

Seguido de esto en la sección de “Devicefunction” se dividen varios parámetros unos, como el “VariableCollection” donde se llenan cierta cantidad de variables para complementar la información del sensor, y su sección adyacente “variable” donde se le otorga un valor, al sensor que se desea medir.

```

<VariableCollection>
  <StdVariableRef id="V_DirectParameters_1" />
  <StdVariableRef id="V_DirectParameters_2" />
  <StdVariableRef id="V_SystemCommand" />
  <StdVariableRef id="V_DeviceAccessLocks" excludedFromDataStorage="true">
  <StdRecordItemRef subindex="1" defaultValue="0" />
  </StdVariableRef>
  <StdVariableRef id="V_VendorName" defaultValue="VIDAL NARINO" />
  <StdVariableRef id="V_VendorText" defaultValue=" Sensor Test" />
  <StdVariableRef id="V_ProductName" defaultValue="BMP280" />
  <StdVariableRef id="V_ProductID" defaultValue="1" />
  <StdVariableRef id="V_ProductText" defaultValue="Sensor Presion Y Temperatura BMP280" />
  <StdVariableRef id="V_SerialNumber" defaultValue="00000000" />
  <StdVariableRef id="V_HardwareRevision" defaultValue="HW-V1.00" />
  <StdVariableRef id="V_FirmwareRevision" defaultValue="FW-V1.00" />
  <StdVariableRef id="V_ApplicationSpecificTag" defaultValue="****" excludedFromDataStorage="true" />
  <Variable id="V_SensorEnable" accessRights="rw" index="64" excludedFromDataStorage="true">

```

Estos cambios se ven reflejados en una de las plataformas importantes, en el IODD-Cheker, el cual permite comprobar el cuerpo y forma del archivo en cuestión, éste traduce de una forma muy intuitiva y gráfica todo el código .XML el cual está compuesto el IODD (Figura 16)

SENSOR PRESION TEMPERATURA BMP280	
Vendor ID	259 (0x0103)
Vendor Name	VIDAL NARINO
Vendor Text	UEIBosque
Vendor URL	www.unbosque.edu.com.co
Device ID	88 (0x000058)
DeviceFamily	Presion Temperatura



Figura 18. Visualización IODD Checker Devicefunction

Desde este punto del código, en adelante se presentarán cambios que se verán reflejados en el IO-Link control tool.

La sección “Variable”, la cual se despliega en el costado derecho del IO-Link Control Tool, permite otorgarle un valor al sensor en cuestión, en esta sección se deben desglosar las variables las cuales el sensor va a identificar, en este caso se presentarán dos valores por

cada variable debido a que se presenta un valor en crudo, en valores hexadecimales, y un valor ya real, con su respectiva unidad de medida.

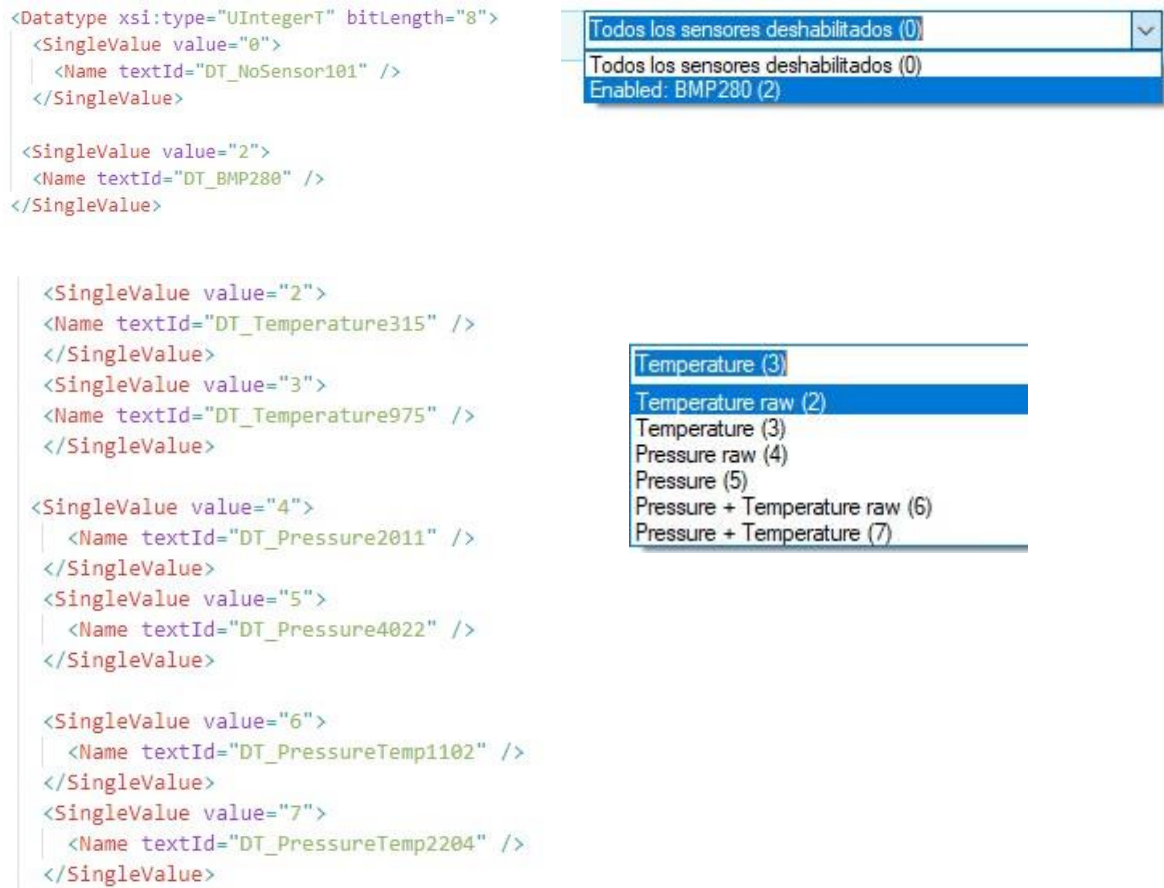


Figura 19. Visualización IODD vs Visualización Control Tool sección “Variable”

Procesamiento de variables

El “ProcessDataCollection” es el encargado de que se ejecuten todas las operaciones llamando a cada una de las variables que se van a visualizar, adicionalmente permite dejar como default la variable que se desea.


```

<ProcessDataCollection>
  <ProcessData id="PD_AllProcessData">
    <Condition variableId="V_ProcessDataLayout" value="3" />
    <ProcessDataIn id="PDIN_ALL" bitLength="96">
      <Datatype xsi:type="RecordT" bitLength="96" subindexAccessSupported="false">
        <RecordItem subindex="1" bitOffset="0" accessRightRestriction="ro">
          <SimpleDatatype xsi:type="IntegerT" bitLength="16" />
          <Name textId="DT_RI_Name945Temperature" />
          <Description textId="DT_RI_Description4b09f90c-7f9e-4495-bf32-2f21a32abf72" />
        </RecordItem>
      </Datatype>
    <Name textId="PD_IN_ProcessData-Temperature" />
  </ProcessData>
</ProcessDataCollection>

```

El valor “3” seleccionado en el código, hace énfasis en el valor que se le otorgó a la variable de temperatura en la imagen # , seguido de esto se llama la variable correspondiente al valor correcto, no el cual se considera como crudo, finalmente se hace llamado a la función de temperatura.

 Variable a Medir	120	0	RW	Unsigned Integer	Temperature (3)
--	-----	---	----	------------------	-----------------

Figura 20. Visualización Control Tool default

Este proceso se repite con las variables que desean medir, teniendo en cuenta que la variable de default ya se nombró, esto con el fin de no tener una variable repetida

```

<ProcessData id="PD_ProcessDataPressure">
  <Condition variableId="V_ProcessDataLayout" value="5" />
  <ProcessDataIn id="PD_Pressure" bitLength="96">
    <Datatype xsi:type="RecordT" bitLength="96" subindexAccessSupported="false">
      <RecordItem subindex="1" bitOffset="32" accessRightRestriction="ro">
        <SimpleDatatype xsi:type="IntegerT" bitLength="32" />
        <Name textId="DT_RI_Name112Pressure" />
        <Description textId="DT_RI_Description4b09f90c-7f9e-1112-bf32-2f21a32abf72" />
      </RecordItem>
    </Datatype>
  <Name textId="PD_IN_ProcessData-Pressure" />
</ProcessDataIn>
</ProcessData>

```

ProcessDataRef

Acá se presenta la configuración de la visualización de las variables que se presentan, es decir, la unidad, el formado de los decimales, el listados de unidades se encuentra en el anexo 4 el cual en sus tablas finales identifica cada número relacionado con la unidad deseada.

```
<ProcessDataRefCollection>
  <ProcessDataRef processDataId="PDIN_ALL">
    <ProcessDataRecordItemInfo subindex="1" gradient="0.1" offset="0" unitCode="1001" displayFormat="Dec.2" />
  </ProcessDataRef>

  <ProcessDataRef processDataId="PD_PressTemp">
    <ProcessDataRecordItemInfo subindex="1" gradient="0.1" offset="0" unitCode="1001" displayFormat="Dec.2" />
    <ProcessDataRecordItemInfo subindex="2" gradient="0.01" offset="0" unitCode="1136" displayFormat="Dec.2" />
  </ProcessDataRef>

  <ProcessDataRef processDataId="PD_Pressure">
    <ProcessDataRecordItemInfo subindex="1" gradient="0.01" offset="0" unitCode="1136" displayFormat="Dec.2" />
  </ProcessDataRef>
```

Desde este punto los cambios que se presentarán cambios en el IODD son enfocados hacia una visualización agradable hacia el usuario en el IODD control tool, como cambios de idioma o llamados de funciones externas.

En este apartado se sigue llenando información del sensor, con la intención de que se visualice de forma ordenada en el IODD-Checker y en el IO-Link Control tool,

```
<Text id="TI_VendorText" value="UElBosque" /> <!--CAMBIO LINK-->
<Text id="TI_Device_Name" value="SENSOR PRESION TEMPERATURA BMP280" /> <!--CAMBIO NOMBRE DISPOSITIVO-->
<Text id="TI_DeviceFamily" value="Presion Temperatura " /> <!--CAMBIO NOMBRE-->
<Text id="TI_VendorUrl" value="www.unbosque.edu.com.co" /> <!--CAMBIO LINK-->
<Text id="TI_Device_1_Name" value="Sensor BMP280" /> <!--CAMBIO NOMBRE-->
<Text id="TI_Device_1_Description" value="Sensor I2C Presion temperatura" /> <!--CAMBIO NOMBRE-->
```

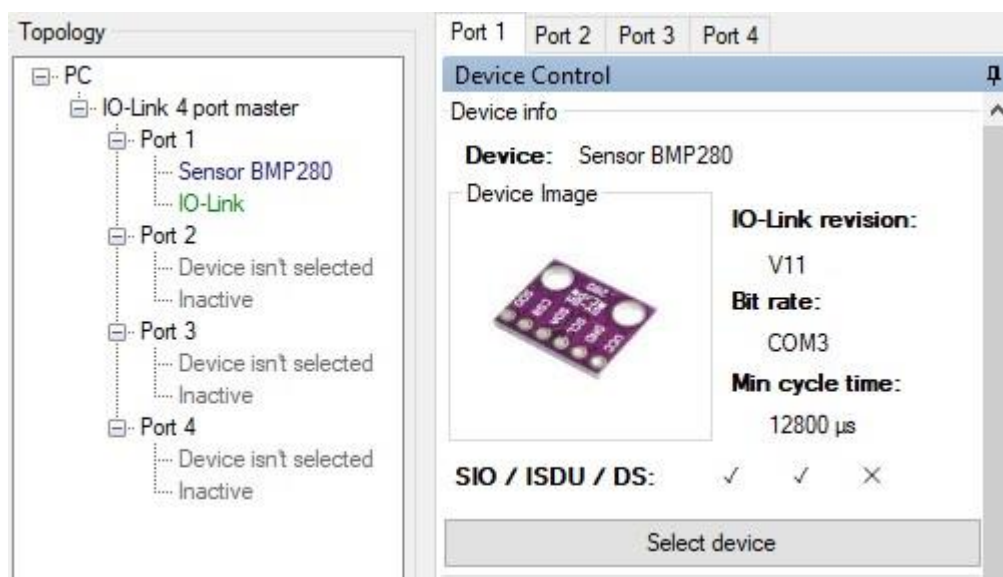


Figura 21. Visualización Control Tool BMP280


SENSOR PRESION TEMPERATURA BMP280		 UNIVERSIDAD EL BOSQUE Vigilada Mineducación
Vendor ID	259 (0x0103)	
Vendor Name	VIDAL NARINO	
Vendor Text	UEIBosque	
Vendor URL	www.unbosque.edu.com.co	
Device ID	88 (0x000058)	
DeviceFamily	Presion Temperatura	
Features		
Block Parameter	no	
Data Storage	no	
Supported Access Locks	Parameter: yes, Data Storage: no, Local Parameterization: no, Local User Interface: no	
Communication		
IO-Link Revision	V1.1	
Transmission Rate	230400 bit/s (COM3)	
Minimum Cycle Time	12.8 ms	
SIO Mode Supported	yes	
M-Sequence Capability	PREOPERATE = TYPE_1_V with 32 octets on-request data OPERATE = TYPE_2_V with 32 octets on-request data ISDU supported	
Device Variant	Sensor BMP280	
Description	Sensor I2C Presion temperatura	

Figura 22, Visualización IODD checker BMP280.

El ProcessDataLayout se encarga de la visualización de todas las variables y el cómo se van a visualizar, de cómo el usuario va a interactuar con la interfaz para seleccionar las variables que se desea medir y el sensor que se desea habilitar

-Sensor

```
<Text id="DT_NoSensor101" value="Todos los sensores deshabilitados" /> <!--CAMBIO IDIOMA-->
<Text id="DT_BMP280" value="Enabled: BMP280" />
```

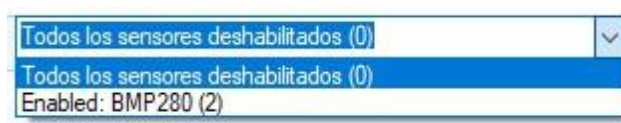


Figura 23. Visualización Control Tool Sección Sensores

-Variables

```
<Text id="V_N_V_ProcessDataLayout" value="Variable a Medir" /> <!--CAMBIO DE IDIOMA-->
<Text id="V_D_V_ProcessDataLayout" value="Switching between different process data layouts" />

<Text id="DT_Temperature315" value="Temperature raw" />
<Text id="DT_Temperature975" value="Temperature" />

<Text id="DT_Pressure2011" value="Pressure raw" />
<Text id="DT_Pressure4022" value="Pressure" />

<Text id="DT_PressureTemp1102" value="Pressure + Temperature raw" />
<Text id="DT_PressureTemp2204" value="Pressure + Temperature" />
```

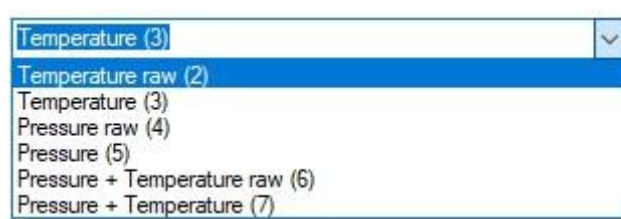


Figura 24. Visualización Control Tool Sección Variable

Para terminar la sección del IODD Se llega al punto de visualización de variables, donde Se llaman las últimas funciones para ser graficadas por la interfaz, al momento de aplicar los cambios al sistema, este sepa qué variables debe medir y cómo estas van a ser representadas en la interfaz.

```
<Text id="DT_RI_Name945Temperature" value="Temperature" />
<Text id="DT_RI_Description4b09f90c-7f9e-4495-bf32-2f21a32abf72" value="Temperatura medida" />

<Text id="DT_RI_Name112Pressure" value="Pressure" />
<Text id="DT_RI_Description4b09f90c-7f9e-1112-bf32-2f21a32abf72" value=" Presion medida " />

<Text id="PD_IN_ProcessData-PressrueTemperature" value="Process Data - Pressure + Temperature" />
<Text id="PD_IN_ProcessData-Pressure" value="Process Data - PRESION" />
<Text id="PD_IN_ProcessData-Temperature" value="Process Data - TEMPERATURA" />
```

PD input:		Validity:	-	Plot
Name	Value	Formatted Value	Unit	
△ Raw data	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 ...	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 ...		
▼ { } Process Data - PRESION				
var Pressure	0	0	hPa	

Figura 25. Visualización Control Tool Sección LayOut

4.2 Diseño MEM

Tomando como base el software que provee el fabricante (TeConcepts), se procede a realizar las respectivas modificaciones, teniendo en cuenta, que se debe mantener la estructura dada por la arquitectura descrita por la figura 4.

Se tiene en cuenta que las capas de soporte de tarjeta (Board Soporoso Package), API de abstracción de hardware, así como el Stack de IO-Link, son componentes rígidos de software, es decir, no se le puede realizar ningún tipo de modificación, se realizan modificaciones en la capa de aplicación, las cual permite la versatilidad para la integración que este proyecto pretende.

La estructura de la capa de aplicación MEMS, se da de la siguiente manera:

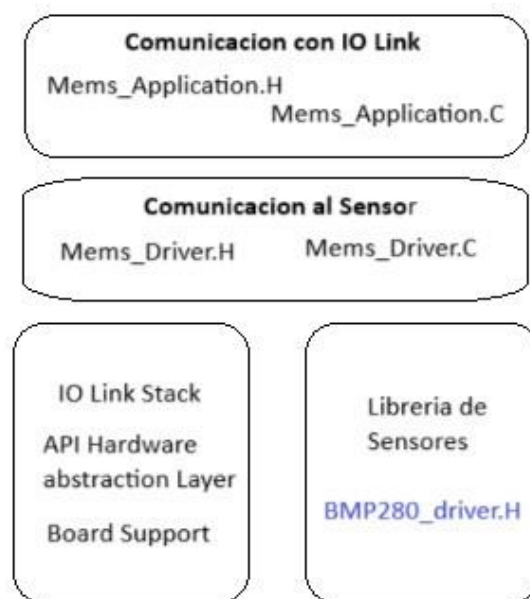


Figura 26. Estructura MEM

[AP]

Para las necesidades que propone el proyecto, se realiza un enfoque en las modificaciones necesarias en: Librería de Sensores, Comunicación al sensor y Comunicación con IO Link.

4.2.1 Librería de Sensores (BMP280_Driver.h)

La librería de sensores es el punto inicial para la modificación de la aplicación, este archivo de encabezado, se realiza completamente, sin contener modificaciones, ya que esta librería es única para cada sensor que se quiera integrar.

Para este proyecto, se ha decidido por el sensor Bosch BMP280, de temperatura y presión atmosférica, el cual tiene la documentación del circuito integrado, con una descripción profunda de la ubicación, valores y propósitos, de cada uno de los registros, con lo cual se tiene de una manera clara y entendible, el insumo principal para el desarrollo de la librería por medio del mapa de registros.

Register Name	Address	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	Reset state
temp_xlsb	0xFC	temp_xlsb<7:4>				0	0	0	0	0x00
temp_lsb	0xFB	temp_lsb<7:0>								0x00
temp_msb	0xFA	temp_msb<7:0>								0x80
press_xlsb	0xF9	press_xlsb<7:4>				0	0	0	0	0x00
press_lsb	0xF8	press_lsb<7:0>								0x00
press_msb	0xF7	press_msb<7:0>								0x80
config	0xF5	t_sb[2:0]				filter[2:0]				0x00
ctrl_meas	0xF4	osrs_t[2:0]				osrs_p[2:0]				0x00
status	0xF3					measuring[0]				0x00
reset	0xE0	reset[7:0]				im_update[0]				0x00
id	0xD0	chip_id[7:0]								0x58
calib25...calib00	0xA1...0x88	calibration data								individual

Registers:	Reserved registers	Calibration data	Control registers	Data registers	Status registers	Revision	Reset
Type:	do not write	read only	read / write	read only	read only	read only	write only

Figura 27. Mapa de registros [19]

Una vez se ha realizado el desglose de la información de los registros, se procede a realizar la definición de los mismos en el archivo de la librería.

```

= /*****
*** Variable Declaration for BMP280 Bosch Sensor
*****/
typedef unsigned char BMP280_BYTE;

#define BMP280_I2C_ADDRESS ((BMP280_BYTE)0x76) /*!< BMP280 I2C address (0xEE needs to be checked) */

#define BMP280_WHO_AM_I_REG ((BMP280_BYTE)0xD0) /*!< Device Identification register */
#define BMP280_WHO_AM_I_VAL ((BMP280_BYTE)0x55) /*!< Device Identification value */

#define BMP280_SW_RESET_BYTE (BMP280_BYTE) 0xE0; /*!< Device Soft Reset Register Direction */
#define BMP280_SW_RESET_BIT 0

/*!< Control MEAS Register */

#define BMP280_CTRL_MEAS ((BMP280_BYTE)0xF4) /*!< Control MEAS Register */

#define BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_MASK ((BMP280_BYTE) (0xE0)) // Bits 7, 6, and 5 are set to 1
#define BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_BIT 5 // Bit 5 is the least significant bit for temperature oversampling

#define BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_MASK ((BMP280_BYTE) (0x1C)) // Bits 4, 3, and 2 are set to 1
#define BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_BIT 2 // Bit 2 is the least significant bit for Pressure oversampling

#define BMP280_MODE_MASK ((BMP280_BYTE) (0x03)) // Bits 1 and 0 are set to 1
#define BMP280_MODE_BIT 0 // Bit 0 is the least significant bit for Mode Selection

```

En la definición de los registros, se emplean máscaras, que identifican las posiciones de los bits de cada uno de los subregistros, así como también se utilizan marcadores que indican las posiciones de los bits menos significativos de cada subregistro. Este proceso se realiza con los registros CONFIG, el cual contiene el registro de stand by time, filtro, y la selección para activar la comunicación SPI, y el Registro CTRL_MEAS, el cual contiene los registro para selección de modo (Normal, Forzado, Sleep), y los registros para el sobre muestreo (Oversampling) de las variables de medición.

En la librería BMP280_Driver, también se realizan las definiciones las estructuras y enumeraciones, de los valores que pueden tomar los registros ya definidos.


```

2 typedef enum {
3     BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_SKIP = 0x00,    // No Temperature Oversampling
4     BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_1X = 0x01,    // Temperature Oversampling x1
5     BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_2X = 0x02,    // Temperature Oversampling x2
6     BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_4X = 0x03,    // Temperature Oversampling x4
7     BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_8X = 0x04,    // Temperature Oversampling x8
8     BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_16X = 0x05    // Temperature Oversampling x16
9 } BMP280_TemperatureOversampling_et;

10 typedef enum {
11     BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_SKIP = 0x00,    // No Pressure Oversampling
12     BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_1X = 0x01,    // Pressure Oversampling x1
13     BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_2X = 0x02,    // Pressure Oversampling x2
14     BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_4X = 0x03,    // Pressure Oversampling x4
15     BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_8X = 0x04,    // Pressure Oversampling x8
16     BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_16X = 0x05    // Pressure Oversampling x16
17 } BMP280_PressureOversampling_et;

```

Así como también las estructuras de las variables de salida, y de configuración del senso

```

18 } BMP280_ConfigTypeDef_st;

19 /**
20 * @brief BMP280 Measure Type definition.
21 */
22 typedef struct
23 {
24     int16_t Tout; /*!< Temperature output */
25     int32_t Pout; /*!< Pressure output */
26 } BMP280_MeasureTypeDef_st;
27 /**
28 * @brief LPS22HB Configuration structure definition.
29 */
30 typedef struct
31 {
32     BMP280_TemperatureOversampling_et TemperatureOversampling;
33     BMP280_PressureOversampling_et PressureOversampling;
34     BMP280_StandbyDuration_et StandbyDuration;
35     BMP280_FilterCoefficient_et FilterCoefficient;
36     BMP280_BlockDataUpdate_et BlockDataUpdate;
37     BMP280_SPIEnable_et SPIEnable;
38     BMP280_IfAddInc_et IfAddInc;
39     BMP280_PowerMode_et PowerMode;
40 } BMP280_ConfigTypeDef_st;

```

4.2.2 Comunicación con Sensor

Para realizar la comunicación de la librería creada para el sensor BMP280, se hacen modificaciones a los archivos mems driver.

- Mems Driver.h

Este archivo requiere la menor cantidad de modificaciones, en este archivo se incluye la definición del archivo de librería del sensor, y se incluye también la definición de las funciones de inicialización, abogado y lectura de variables.

```
#ifndef MEMS_DRIVER_H_
#define MEMS_DRIVER_H_

@/***** Includes *****/
@/*****

/* import types */
#include "iol_device_stack/inc/iol_stack_types.h"
/* import driver' headers */
#include "BMP280_driver.h"

@/*****
 * BMP280
 *****/
void BMP280_Init          ( BMP280_ConfigTypeDef_st *pBMP280Init ) ;
void BMP280_DeInit       ( void ) ;
void BMP280_Get_RawPressure ( int32_t *raw_press ) ;
void BMP280_Get_Pressure  ( int32_t *Pout, int32_t *raw_press ) ;
void BMP280_Get_RawTemperature( int16_t *raw_data ) ;
void BMP280_Get_Temperature ( int16_t *Tout, int16_t *raw_data ) ;

#endif /* MEMS_DRIVER_H_ */
```

- Mems Driver.c

Este segundo componente, requiere una mayor cantidad de modificaciones, las cuales se tienen que adaptar a los sensores que se quiera integrar, en este archivo, se realizan las definiciones de las funciones para leer y escribir registros dependiendo de las máscaras y los registros definidos por la librería, así como también, se encuentran declaradas las funciones de inicio y apagado del sensor, las funciones de lectura de cada una de las variables, y en el caso del sensor BMP280, se encuentran definidas las funciones de compensación necesarias para la obtención de datos más precisos de medida

```
// Returns pressure in Pa as unsigned 32 bit integer. Output value of "96386" equals 96386 Pa = 963.86 hPa
void bmp280_compensate_P_int32(int32_t *raw_press)
{
    BMP280_Get_RawPressure( &raw_press[0] );
    BMP280_S32_t var1, var2, p;

    var1 = (((BMP280_S32_t) t_fine ) >> 1) - (BMP280_S32_t)64000;

    //var1 = (((BMP280_S32_t)t_fine)>>1) - (BMP280_S32_t)64000;
    var2 = (((var1>>2) * (var1>>2)) >> 11 ) * ((BMP280_S32_t)dig_P6);
    var2 = var2 + ((var1*((BMP280_S32_t)dig_P5))<<1);
    var2 = (var2>>2)+(((BMP280_S32_t)dig_P4)<<16);
    var1 = (((dig_P3 * ((var1>>2) * (var1>>2)) >> 13 )) >> 3) + (((BMP280_S32_t)dig_P2) * var1)>>1);
    var1 = (((32768+var1))*((BMP280_S32_t)dig_P1)>>15);
    if (var1 == 0)
    {
        p = 0;
        return ; // avoid exception caused by division by zero
    }
    p = (((BMP280_U32_t) (((BMP280_S32_t)1048576)- *raw_press )-(var2>>12)))*3125;
    if (p < 0x80000000)
    {
        p = (p << 1) / ((BMP280_U32_t)var1);
    }
    else
    {
        p = (p / (BMP280_U32_t)var1) * 2;
    }
    var1 = (((BMP280_S32_t)dig_P9) * ((BMP280_S32_t)((p>>3) * (p>>3)>>13))>>12);
    var2 = (((BMP280_S32_t)(p>>2)) * ((BMP280_S32_t)dig_P8)>>13);
    p = (BMP280_U32_t) ((BMP280_S32_t)p + ((var1 + var2 + dig_P7) >> 4));
    return;
}
```

4.2.3 Comunicación con IO-Link

La capa de la aplicación que se encarga de la comunicación el Stack software está caracterizada en los archivos Mems Application, al igual que con Mems drivers, esta capa está compuesta por dos archivos, uno de encabezado H y el archivo de ejecución C.

- Application.h

En este archivo se declaran los valores por defecto en los cuales se inicializa la aplicación, los valores que se configuran utilizando los nombres de las máscaras con las que se definieron los parámetros del sensor en la librería,

```

5 */
6 /*! Set Default enabled sensor set, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_sensor_activator_____on_index_64.
7 #define MEMS_DEFAULT_ENABLED_____SENSORS (E_BMP280_EN)
8 /*! Set PDIN format, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_pdinformat_selection_on_index_120.
9 #define MEMS_DEFAULT_PDIN_____FORMAT (E_HUMAN_READABLE_FORM | E_TEMPERATURE_____FORM | E_PRESSURE_____FORM)
0 /*! Default Gain-Error set, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_gainerror_correction_____on_index_81.
1 #define MEMS_DEFAULT_GAINERROR_____SET (0)
2 /*! Default Teach-calibration set, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_teach_calibration_____on_index_121.
3 #define MEMS_DEFAULT_PARAM_TEACH_CALIBRATION (0)
4 /*! Default calibration data, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_calibration_data_____on_index_80.
5 #define MEMS_DEFAULT_CALIBRATION_____DATA (0)
6
7 */
8 * 4. Set BMP280 configuration
9 */
10
11 #define BMP280_CONF_ODR (BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_2X) /*!< Set OutputDataRate : Output Data Rate
12 #define BMP280_CONF_LFP (BMP280_DISABLE) /*!< Set LowPassFilter : Enable/ Disable Low Pass Filter
13 #define BMP280_CONF_LPC (BMP280_ODR_9) /*!< Set LFP_Cutoff : Low Pass Filter Configuration
14 #define BMP280_CONF_SIM (BMP280_SPI_4_WIRE) /*!< Set Sim : SPI Serial Interface Mode selection
15 #define BMP280_CONF_IAI (BMP280_DISABLE) /*!< Set IfAddInc : Enable/Disable Register address automatically incremented duri
16
17
18 #define BMP280_CONF_POM (BMP280_POWER_MODE_NORMAL) // Set Power Mode: Normal mode
19 #define BMP280_CONF_TEMP_OVERSAMPLING (BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_2X) // Set Temperature Oversampling: 2x
20 #define BMP280_CONF_PRESS_OVERSAMPLING (BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_16X) // Set Pressure Oversampling: 16x
21 #define BMP280_CONF_STANDBY_DURATION (BMP280_STANDBY_DURATION_62_5_MS) // Set Standby Duration: 62.5 ms
22 #define BMP280_CONF_FILTER_COEFF (BMP280_FILTER_COEFF_4) // Set Filter Coefficient: 4
23 #define BMP280_CONF_BDU (BMP280_BDU_CONTINUOUS) // Set Block Data Update: Continuous
24 #define BMP280_CONF_SPI_ENABLE (BMP280_SPI_DISABLE) // Set SPI Mode: SPI Mode Disabled
25 #define BMP280_CONF_IF_ADD_INC (BMP280_ADDR_INC_ENABLE) // Set Register Address Increment: Enabled

```

- Application.c

Junto con el driver.c, este archivo requiere mayores modificaciones ya que es el encargado de transmitir la información que provenga del sensor, hacia el stack software. Entre las definiciones que se realizan en este archivo, se encuentran los bits que van a contener la

información de lectura de cada variable, así como también la declaración de funciones, las cuales, teniendo en cuenta los parámetros codificados del sensor, los transmite hacia el stack, y así lograr la comunicación en modo IO-Link, con el sensor I²C

```
#E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t mems_app_sensorCalibration(uint8_t* calibrationData) {
    E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t ret = PARAMETER_HANDLER_ERROR_INVALID_PARAMETER;

    /* 1st byte determines which calibration data is provided, other bytes are the data of the calibration */
    if (calibrationData[0] == CALIBRATION_ID_BMP280) {
        // Check if the BMP280 sensor is available in your stack
        #if defined(WITH_BMP280)
        // Check if calibration data is valid
        if ((calibrationData[1] <= BMP280_POWER_MODE_NORMAL) &&
            (calibrationData[2] <= BMP280_STANDBY_DURATION_62_5_MS) &&
            (calibrationData[3] <= BMP280_FILTER_COEFF_16)) {

            BMP280_ConfigTypeDef_st BMP280_Calib_Conf;
            BMP280_Calib_Conf.PowerMode = (BMP280_PowerMode_t)calibrationData[1];
            BMP280_Calib_Conf.StandbyDuration = (BMP280_StandbyDuration_t)calibrationData[2];
            BMP280_Calib_Conf.FilterCoefficient = (BMP280_FilterCoefficient_t)calibrationData[3];
            BMP280_Calib_Conf.SPIEnable = BMP280_SPI_DISABLE; // SPI mode disabled for BMP280
            BMP280_Calib_Conf.IfAddInc = (calibrationData[4] & BMP280_CALIB_I2C_MASK) != NOT_SET ? BMP280_ADDR_INC_ENABLE : BMP280_ADDR_INC_DISABLE;

            // Initialize the BMP280 sensor with the provided configuration
            BMP280_Init(&BMP280_Calib_Conf);
            ret = PARAMETER_HANDLER_IS_SUCCEEDED;
        }
    }
    #else
    // BMP280 is not available in your stack
    ret = PARAMETER_HANDLER_ERROR_SENSOR_IS_NOT_AVAILABLE;
    #endif
}

return ret;
}
```

5. PRUEBAS

Se presentan dos sensores los cuales se someten al protocolo, uno en modo SIO y otro en modo IO-Link, se conoce que el modo SIO, no presenta ninguna muestra gráfica debido a que su resultado es un 1 lógico (High) y un 0 lógico como (Low) y al sensor BMP280 se busca como prueba de su funcionamiento, la comprobación de cada uno de sus sensores y de forma conjunta, estos deben poder funcionar con cada uno de sus COM, mostrar un dato crudo en hexadecimal y su valor configurado, con su respectiva unidad de medida, y finalmente una gráfica dada por la interfaz, tanto la variable de forma independiente o en conjunto

5.1 Sensor ON OFF LJ12a3-4z/BY

El sensor ON OFF será puesto a prueba mediante la comunicación SIO, este no cuenta con un archivo de identificación debido a que este solo brindara un 1 y un 0 al momento de detectar, el sensor LJ12a3-4z/BY es un dispositivo inductivo encargado de la detección de metales, el cual, al detectar, nos brindara un 1 como respuesta e identificada en la interfaz como un HIGH (1) y al momento de este ser negativo el contacto con un metal, brindara un Low (0).

Sin embargo al no tener un archivo de identificación, se le debe hacer entender a la interfaz que el sensor tendrá una señal digital la cual llegará a master, al momento de seleccionar el protocolo, cambiará de inactivo a DI, siendo Digital Input



Figura 28. Conexión DI Control Tool

Entendiendo su comunicación, se decide hacer como prueba la detección de metales y un análisis sencillo, con respecto a las diferencias que observamos en su comportamiento al momento de presentar frente a estos diferentes tipos de metales.



Figura 29. Visualización DI Control Tool LayOut

5.2 Sensor Digital BMP280

Para este sensor se decide hacer una comprobación de la compatibilidad y la homologación de este sensor I2C al protocolo IO-Link, debido a que se adquirió un sistema de práctica de sensores proporcionado por ST, se limitan ciertas pruebas.

Para primera prueba se propone como prueba compatibilidad del archivo IODD creado enfocado en este sensor y su compatibilidad con el protocolo de la mano del IODD Checker, el cual al momento de hacer la verificación, arroja los errores, y permite de una forma muy sencilla entender si el código .xml del IODD es correcto.

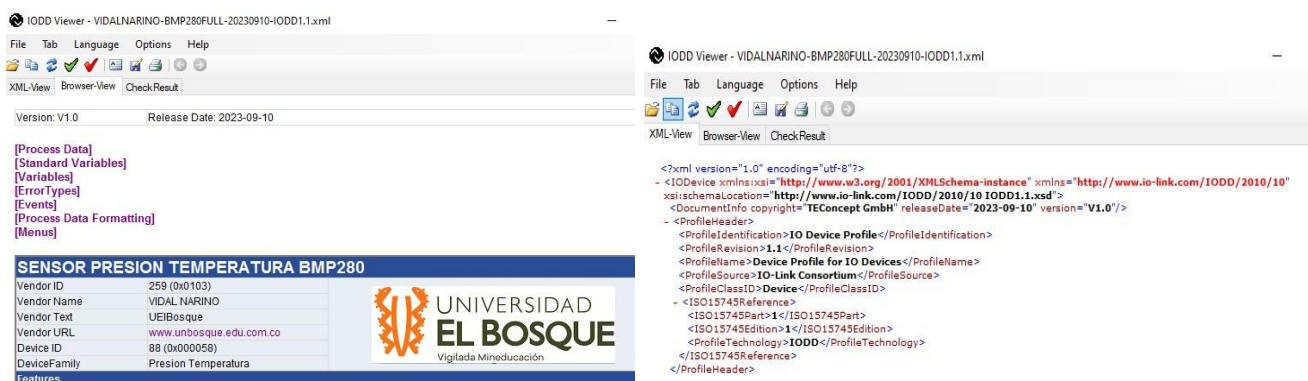


Figura 30. Visualización IODD Checker Exitosa

En el costado izquierdo se presenta una visualización exitosa, en términos generales del IODD, a diferencia del costado derecho que si al momento de cargar el archivo, este se presenta de forma .XML, significa que hay un error, este error se puede observar en el apartado superior “check Result”

NOTA: al ser un sistema de prueba, y ser limitadas ciertas funciones se identifica un total de 8 errores, los cuales no afectan la estructura ni funcionalidad del IODD.

Adicionalmente en el IO-Link control tool al momento de ejecutarse se presentan valores dándole entender al usuario una conexión exitosa

Connected device state	
Vendor ID:	0x0425
Device ID:	0x000001
Product ID:	1
Serial number:	00000000
Vendor name:	STMicroelectronics
Product name:	P-NUCLEO-IOD01A1
Cycle time:	12 800 µs
IO-Link Revision:	V1.1
Port state:	IO-Link
Operate in IO-Link:	Yes

Figura 31. Prueba conexión exitosa IODD

Una vez realizada la comprobación del archivo IODD, en simultáneo realizamos la comprobación de la correcta identificación del sensor, para ello se realiza la lectura de los índices declarados por software, los cuales indicarán el sensor que está conectado y activo.

Parameters						
Search in par:		Menu	Fetch DS	Read All	Read Selected	Write Selected
Name	Index	Subindex	Rights	Type	Unit	Value
Identification Menu						
var Vendor Text	17	0	RO	String		L6362A Multi-sensor Demo
var Product Name	18	0	RO	String		P-NUCLEO-IOD01A1
var Variable a Medir	120	0	RW	Unsigned Integer		Pressure + Temperature (11)
var Serial De Activacion	64	0	RW	Unsigned Integer		Enabled: BMP280 (2)
var Application Specific Tag	24	0	RW	String		***

Figura 32. Prueba conexión exitosa IODD desde Control Tool Layout

Por consiguiente la segunda prueba es la verificación de cada una de las variables que tiene el sensor BMP 280, Presión y Temperatura, estas se deben testear de forma independiente y en conjunto, adicionalmente estas deben tener su respectivo valor en crudo, de forma hexadecimal.

PD input:		Validity:	valid	Plot
Name	Value	Formatted Value	Unit	
△ Raw data	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x03 0x92 0x0C 0x00 0x00 0x00 0x00	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x03 0x92 0x0C 0x00 0x00 0x00 0x00		
▼ (j) Process Data - Presion				
var Presion	233996	2339.96	hPa	

Figura 33. Prueba conexión exitosa BMP desde Control Tool Layout

Como última prueba se busca una visualización en la gráfica de la interfaz, y en esta cada una de las variables deben fluctuar con respecto al tiempo.



Figura 34. Prueba señal exitosa BMP (Presión) desde Control Tool Layout

En la figura 34 se muestra una fluctuación en la señal de presión vs tiempo dada por el sensor BMP280, evidenciando de forma correcta el funcionamiento de forma efectiva la comunicación entre el sensor y la interfaz grafica dada por el Control Tool

6. GUIAS DE LABORATORIO

Estas guías de laboratorio tienen como objetivo dar un esqueleto guiado al alumno de cómo implementar desde un punto inicial el protocolo IO-Link, al sensor que quieran implementar, siendo así capaces de emplear dichas guías en el laboratorio de la asignatura de Sensorica de la universidad El Bosque.

Estas, están divididas en 3 Etapas, proponiendo el desarrollo de cada una de ellas en cada corte del semestre, ya que cada una incrementa su complejidad y su trabajo propio pertinente para cada corte, adicionalmente se mencionan funciones, máscaras, direcciones, atributos, los cuales a medida que se evoluciona en el camino se mencionan de forma repetida, a continuación se presenta una breve explicación de las guías y la idea principal de desarrollo y su correspondiente anexo

6.1 Desarrollo Archivo IODD

Esta guía es la base de todo, donde se identificará la información base del sensor, sus características físicas, tanto de fabricante como cualidades, variables, velocidades y su visualización en pantalla, esta guía viene con un archivo de características TO-DO, es decir que adicionalmente a la guía, se presentaran comentarios en el código para un aprendizaje óptimo al momento de crear su propio archivo; esta guía se encuentra en el anexo #1

6.2 Caracterización y librería del sensor

Acorde a la información del fabricante, acompañados del uso de su respectivo datasheet. se buscará guiar al alumno, para crear una librería .h de la mano de los mapas de registros y los registros de configuración respectivos a cada sensor, entregando su respectivo código TO-DO en cada código .h, la cual se puede encontrar en anexo #2

6.3 Integración y modificación Mems application

Estas guías tienen como objetivo explicar al estudiante como se debe unificar en la implementación de las dos primeras guías, así permitiendo obtener la homologación correcta entre sensores, Mems, master e interfaz, dicha guía se puede encontrar en el anexo #3.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentará un análisis uno a uno de los objetivos y requerimientos planteados al inicio del documento, teniendo en cuenta que los resultados esperados están en la índole de conectividad, reconocimiento de los sensores y su respectiva variable; dicho esto, se hará una segmentación de objetivos y requerimientos, donde se enlistará cada uno de ellos y se adjuntará una imagen con su respectiva descripción. Se tenía la intención de poder habilitar ambas variables del sensor BMP280, temperatura y presión, sin embargo, esto no se logró, debido a que el sensor no permite el encendido de ambas variables ya por fabrica, dicho esto se hacen las pruebas enfocados en una variable de forma independiente, y para el sensor ON / OFF, se busca una conectividad total de este al ecosistema. Teniendo en cuenta lo que se ha mencionado a lo largo del documento, las limitaciones que se presentan por no tener un sistema completamente amplio, muchos de los requerimientos presentados han sido considerados como posibles, y uno que otro se denominó como no posible, y dado el caso con un nivel de restricción; a continuación, se presentaran uno a uno, y su discusión pertinente, empezando por los objetivos y por consiguiente los requerimientos.

7.1 Objetivos

A continuación, se enlistan los objetivos, seguidos de su comprobante visual del cumplimiento de este con su respectiva explicación

- **Diseñar un sistema de sensórica inteligente (Sensor y Master) usando el protocolo Io-Link.**

Se presenta la creación de un archivo IODD, para un sensor en específico, seguido de un archivo MEM, el cual traduce la información de la adquisición de datos del sensor para ser visualizado en la interfaz.

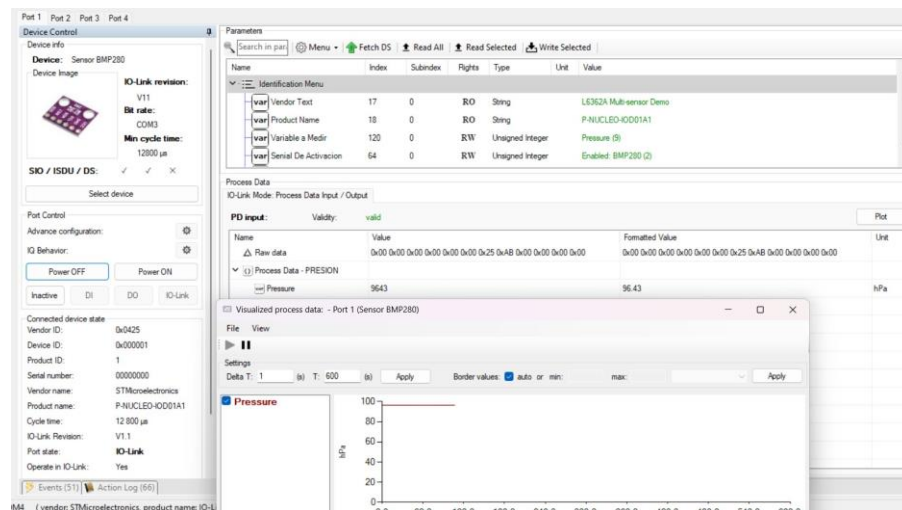


Figura 35. Prueba exitosa protocolo IO-Link y BMP280 desde Control Tool

Se presenta un sistema homologado capaz de comunicarse por medio del protocolo, viéndose como exitoso en la interfaz IO-Link, control tool.



Figura 36. Prueba exitosa protocolo IO-Link y BMP280 desde Control Tool

En la Figura 35, se presenta la conexión exitosa del sensor BMP280, aplicando la versión del protocolo V1.1, y su estado correcto IO-Link

-Realizar pruebas funcionales y ajustes necesarios al sistema de sensórica para la verificación del cumplimiento del estándar.

Entre el estándar se presentan conectores M12, de 4 hilos, estos blindados y aislados respectivamente, este cable y conectores debe estar puesto en cada uno de los componentes, master, Slave.



Figura 37. Conector M12

Debido a las restricciones del fabricante por el stack no completo de forma libre, el estándar de bidireccionalidad no es posible cumplir, debido a que la comunicación de alarmas y eventos no es posible.

-Desarrollar el manual de usuario con las respectivas características del equipo.

Junto al producto final se presentarán todos los entregables solicitados, entre ellos el manual de usuario del dispositivo Anexo 5

7.2 Requerimientos

Se nombrará uno a uno los requerimientos para indicar que se hizo al respecto y corroborar su cumplimiento

7.2.1 Funcionales

- *Permitir la conexión de nuevos sensores.*

Se muestra una conexión por medio de I2C, el sensor BMP280 y el sensor LJ12a3-4z/BY por medio de SIO, siendo un sensor ON OFF.

- El sistema deberá permitir la creación del archivo IODD (IO-Link Device Description)*

Se presenta un archivo IODD, en el cual se modificó, los parámetros del dispositivo, su información base y debido a su limitación de stack no permite dar información de diagnóstico del sensor

- El sistema deberá permitir trabajar en modos SIO y SDCI para lo cual el dispositivo, por HW o SW (perfil) permita indicarle al master su modo de trabajo*

C. El sistema en modo SIO se deberá poder conectar un sensor tradicional tipo on/off; el cual por la línea C/Q, pin 4, enviará una señal 0VDC o 24VDC

D. El sistema en modo SDCI, el dispositivo se comunicará con el master a su velocidad determinada (COM1, COM2 o COM3) siguiendo los mensajes del estándar

A continuación se presentará su respectiva muestra de este requerimiento, como se mencionó en el apartado [5.1 Sensor ON/OFF](#), se habla de que este es un sensor el cual no necesita archivo de identificación, pero si se debe hacer entender al sistema que se va a trabajar con este modo DI.

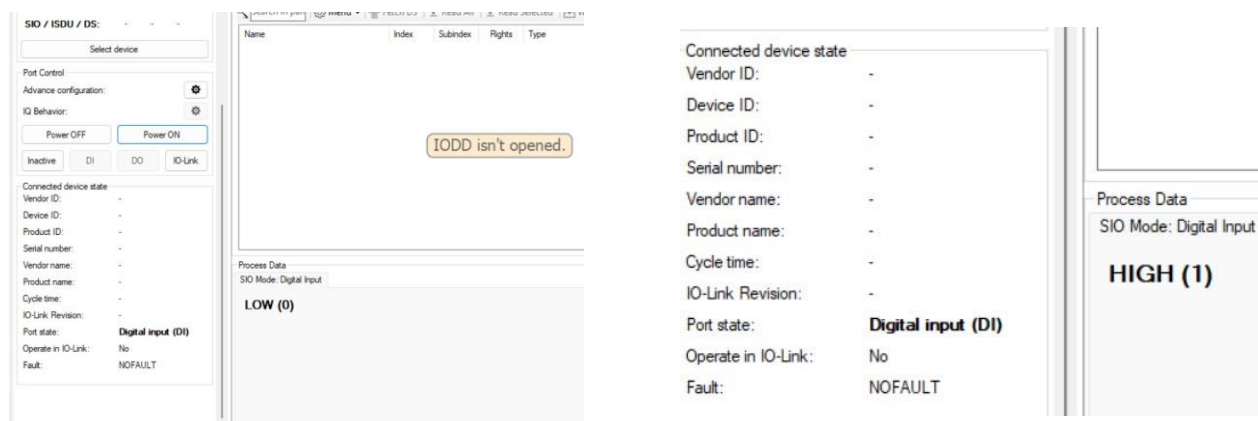


Figura 38. Conexión DI sensor ON OFF

En estas imágenes se evidencia que no es necesario un archivo IODD para este tipo de sensores, y que su comunicación es exitosa por medio de este puerto.

En el apartado D, de estos requerimientos evidenciamos que la comunicación entre device y master, es capaz de trabajar en las 3 velocidades solicitadas en el estándar (COM1, COM2 o COM3)

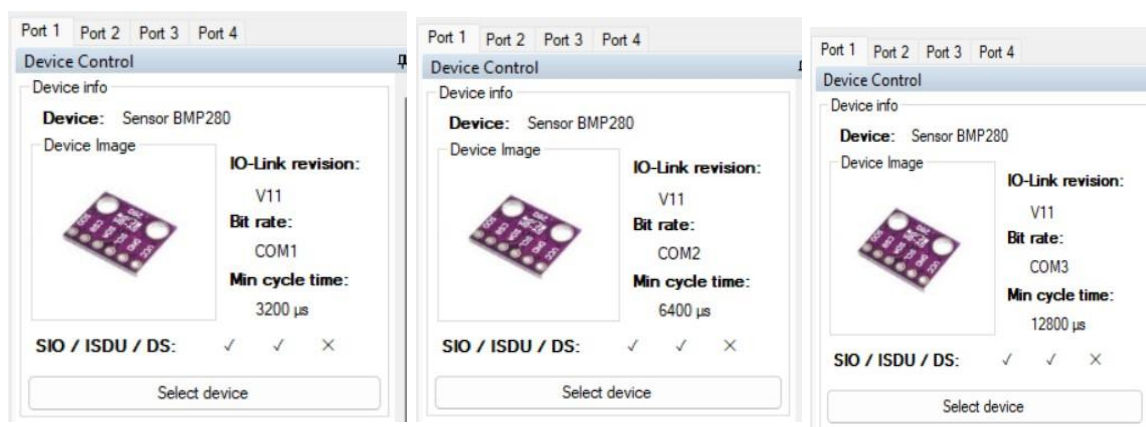


Figura 39. Comprobación de COMS BMP280

-Facilidad de modificar y cambiar el sensor (Actualización de información del dato)

Debido a que los fabricantes de las tarjetas poseen su propio lenguaje de programación y de registros, esta facilidad radica en encontrar un dispositivo que cumpla con las características de registros, sin importar el nombre pero que se tenga un equivalente el cual

posee la información completa y fácil de traducir a los registros del fabricante, dicho esto se puede solucionar el hecho de que sea sencillo intercambiar un sensor a otro por medio de ya tener como base un IODD ya diseñado para el producto o de que el próximo dispositivo que se desee homologar, sea de la marca del fabricante, así se aseguran un traslado de registros más sencillos

-Brindar información del estado del sensor y su diagnóstico

La mayor limitante del stack propietario no permite el uso completo de todas las características que este puede tener, entre ellas es la comunicación entre sensor y device, el cual, en una situación de daño, o mal conexión, no podrá informar a la persona encargada.

- Mostrar variables físicas del sensor en su unidad, mediante una interfaz gráfica

IO-Link Mode: Process Data Input / Output

PD input: Validity: **valid** Plot

Name	Value	Formatted Value	Unit
△ Raw data	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0xFF 0x8D	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0xFF 0x8D	
▼ (1) Process Data - Temperatura			
Temperatura	-115	-11.5	°C

Figura 40. Comprobación de BMP280 temperatura

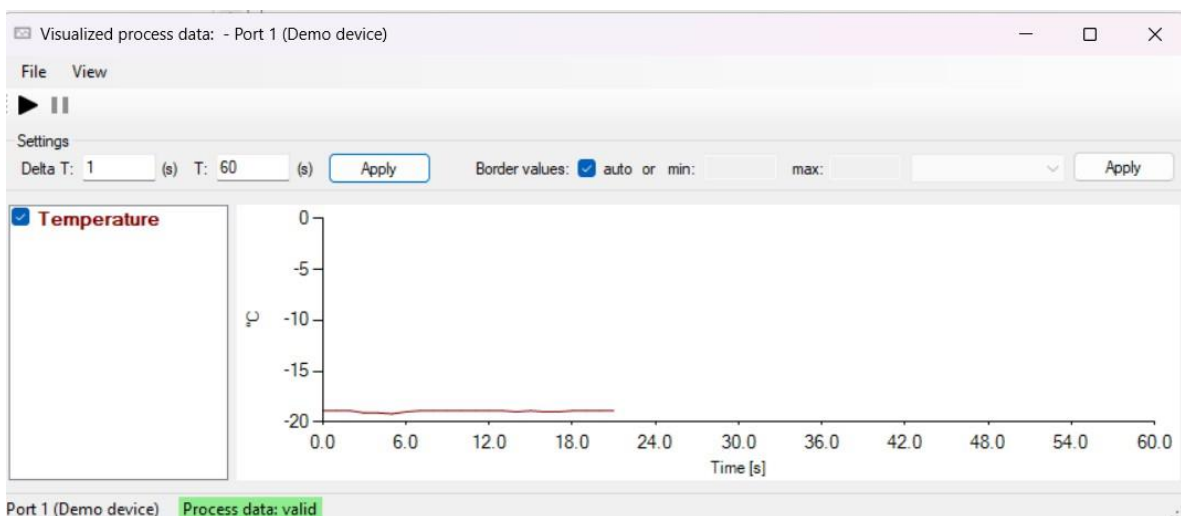


Figura 41. Comprobación de BMP280 Temperatura + Grafica

Process Data			
IO-Link Mode: Process Data Input / Output			
PD input:		Validity: valid	Plot
Name	Value	Formatted Value	Unit
△ Raw data	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x25 0xAB 0x00 0x00 0x00 0x00	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x25 0xAB 0x00 0x00 0x00 0x00	
▼ (U) Process Data - PRESSION			
Pressure	9643	96.43	hPa

Figura 42. Comprobación de BMP280 Presión

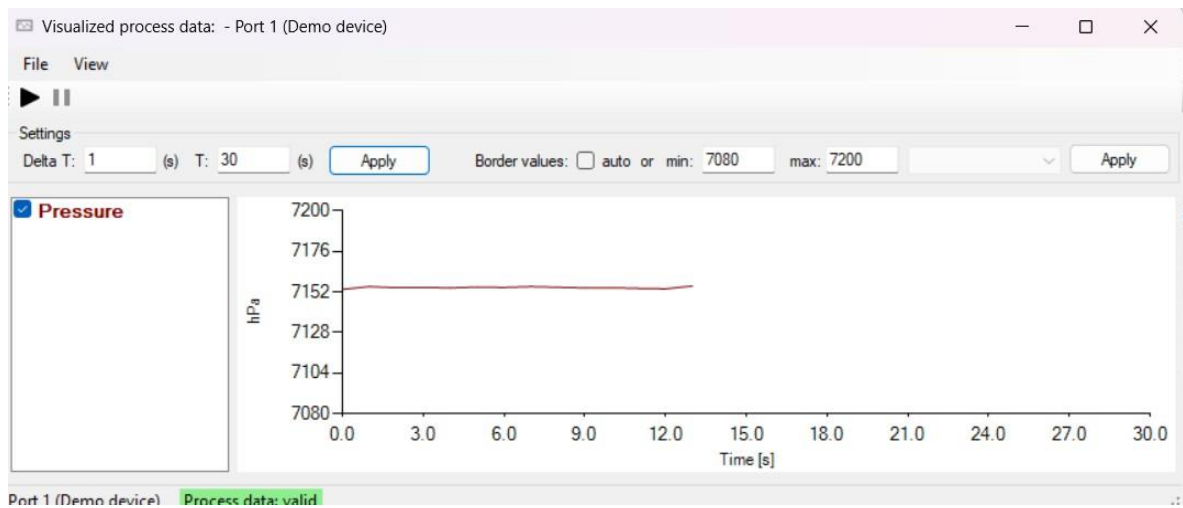


Figura 43. Comprobación de BMP280 Presión + Gráfica

Estas imágenes evidencian la correcta visualización de las unidades en cuestión, Temperatura y presión, debido a la interfaz del sistema permite una visualización tanto en gráfica, como en valor crudo y en su valor con respectiva unidad de medición

El sistema será apto para sensores Digitales y Offs

Mediante el protocolo de comunicación I2C, se comunica el sensor BMP280 y por medio de la línea CQ, se comunicará el sensor ON OFF

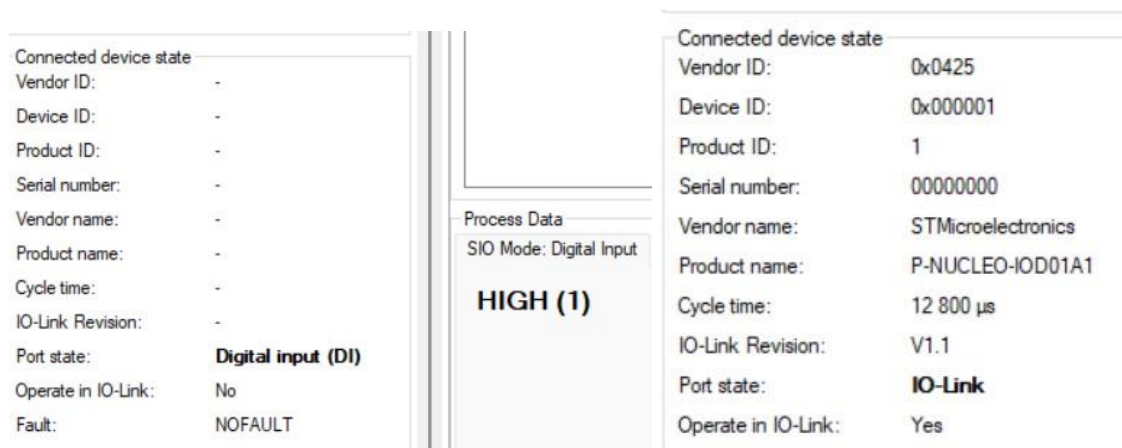


Figura 44. Comprobación de sensor ON OFF y Digital

-Visualización (interfaz, hombre máquina) que se puede ver y hacer (Manipulación, Control y seguimiento del sensor; visualización de la variable de medición, parámetros de medición)
El sistema deberá permitir la conexión/desconexión de cualquier tipo de sensor (elaborado para el sistema) en caliente y configurarlo de manera remota desde un controlador principal.

Debido a que se mantiene una limitación por fabricante, éste de por sí brinda una interfaz que era utilizada para los sensores de la tarjeta auxiliar, la cual se usa para tener una visualización correcta de las variables, sin embargo, no se puede hacer una manipulación en caliente.

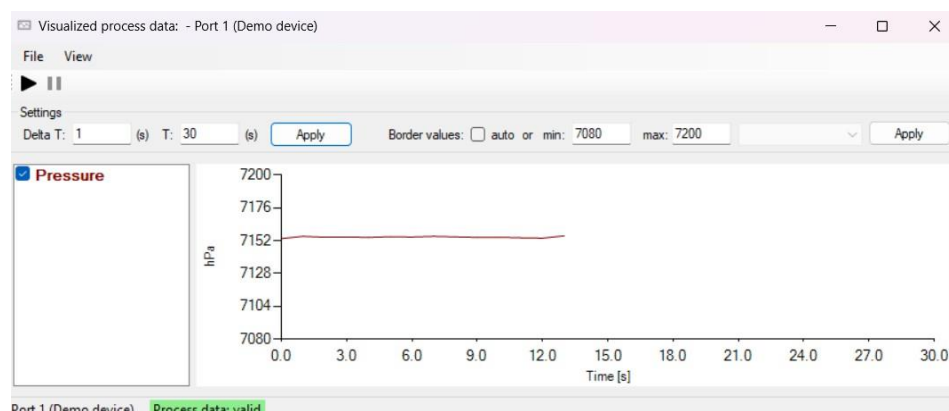


Figura 45. Comprobación visualización gráfica

El sistema deberá no solo permitir la carga de los parámetros de un dispositivo sino también el reconfigurar un dispositivo desde el controlador.

Por medio del archivo IODD, el cual permite la modificación de parámetros y características se ejecutan los cambios para la reconfiguración del dispositivo.

-El sistema deberá indicar a todo momento el estado del sensor según su modo de trabajo.

Mediante el uso del dispositivo se evidencia durante todo su trabajo en la viñeta PortState, el modo de trabajo que el dispositivo está efectuando

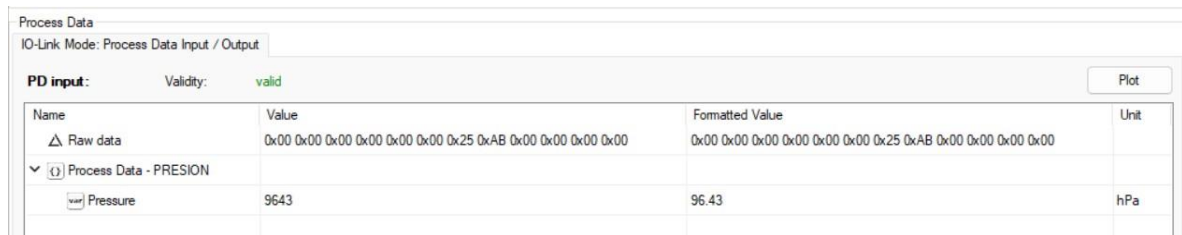


Connected device state	
Vendor ID:	0x0425
Device ID:	0x000001
Product ID:	1
Serial number:	00000000
Vendor name:	STMicroelectronics
Product name:	P-NUCLEO-IOD01A1
Cycle time:	12 800 µs
IO-Link Revision:	V1.1
Port state:	IO-Link
Operate in IO-Link:	Yes

Figura 46. Modo de trabajo

El sistema deberá poder trabajar en mínimo los siguientes dos modos: (cíclica, acíclica y eventos) y El dispositivo deberá contar con un sistema para emular notificaciones, alertas o errores; y así poder demostrar el modo de comunicación acíclica modo eventos.

Como se explica en los apartados anteriores [2.1.7.1](#) y [2.1.7.2](#), se determina que se cumplió con el objetivo, debido a las restricciones de software dado por fabricante el apartado de eventos no es posible conseguirse

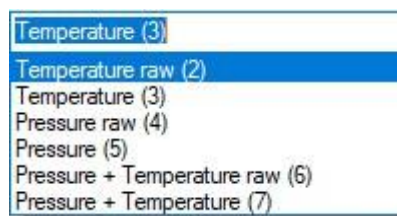


The screenshot shows a software interface titled 'Process Data' with a sub-tab 'IO-Link Mode: Process Data Input / Output'. It displays a table of process data with columns: Name, Value, Formatted Value, and Unit. The 'PD input' status is 'valid'. The table contains three rows: 'Raw data' with a long hexadecimal string, 'Process Data - PRESSION' (expanded) showing 'Pressure' with a value of 9643, and a 'Formatted Value' of 96.43 hPa. A 'Plot' button is visible in the top right.

Name	Value	Formatted Value	Unit
Raw data	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x25 0xAB 0x00 0x00 0x00 0x00	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x25 0xAB 0x00 0x00 0x00 0x00	
Process Data - PRESSION			
Pressure	9643	96.43	hPa

Figura 47. Comunicación Cíclica

En la figura 47. se muestra una comunicación cíclica correcta, ya que muestra los valores de medición, en este caso un valor de 96.43 hPa



The screenshot shows a dropdown menu with the following items: 'Temperature (3)', 'Temperature raw (2)', 'Temperature (3)', 'Pressure raw (4)', 'Pressure (5)', 'Pressure + Temperature raw (6)', and 'Pressure + Temperature (7)'. The first item, 'Temperature (3)', is currently selected.

Temperature (3)
Temperature raw (2)
Temperature (3)
Pressure raw (4)
Pressure (5)
Pressure + Temperature raw (6)
Pressure + Temperature (7)

Figura 48. Comunicación Acíclica

Adicionalmente se muestra una comunicación cíclica, debido a que podemos hacer la configuración de variables fuera de una medición determinada

-Se deberá contar con el número de dispositivos necesarios a diferentes velocidades para demostrar el cambio de velocidad del master o en su defecto contar con un dispositivo configurable en velocidad.

Las velocidades de comunicación entre master y device se pueden comprobar al momento de hacer la conexión del dispositivo y así correr a dichas velocidades la información, a continuación se presenta el sensor BMP280 configurado a las 3 velocidades bajo el estándar.

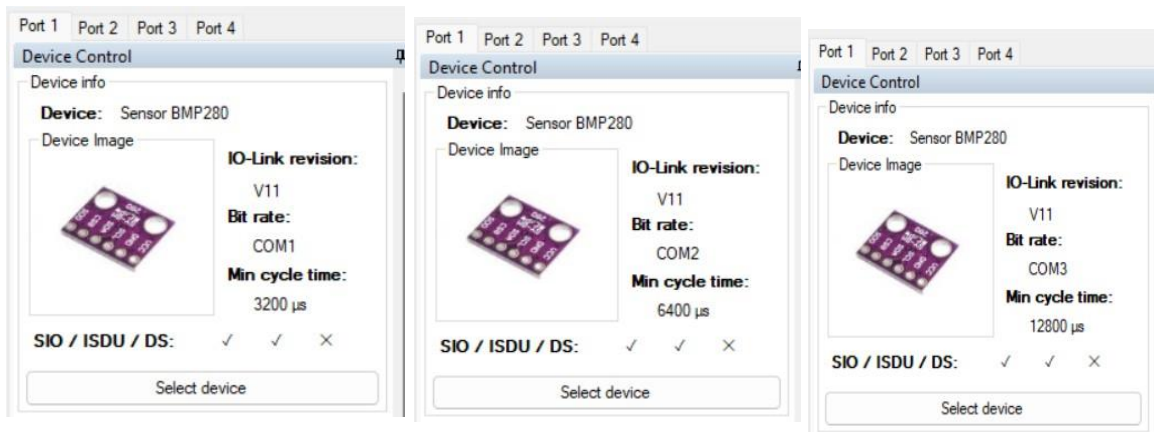


Figura 49. Comunicación Velocidades

7.2.2 Restricción

El sistema deberá usar IO-LINK (1.1 o superior)

Tanto en el IODD, y en el control tool, se presenta una versión 1.1 del protocolo IO-Link

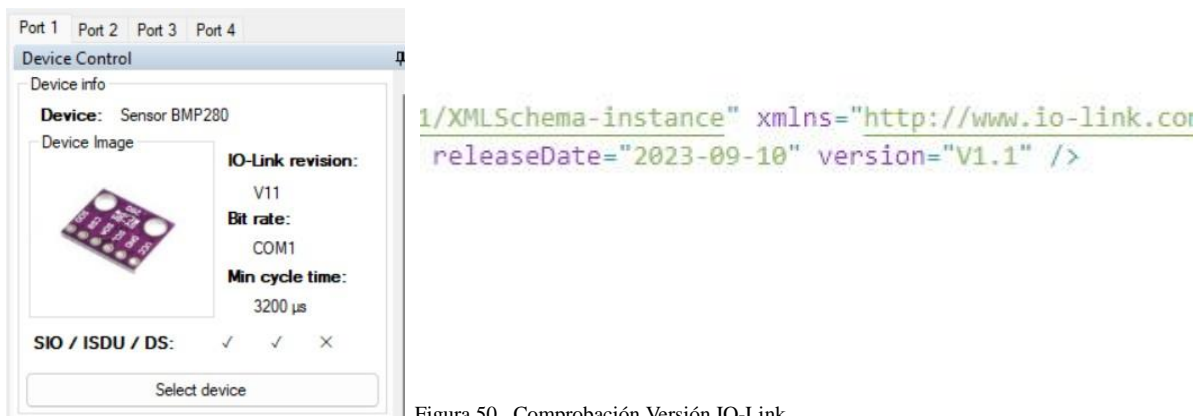


Figura 50. Comprobación Versión IO-Link

-Los nuevos sensores se conectarán mediante i²c

Mediante los pines de hardware del sensor BMP280, se comprueba el uso de este protocolo para la comunicación del sensor y el device de forma correcta (SCL,SDA)

-Los conectores del sistema deberán ser los correspondientes al estándar (io link)

Bajo el estándar de io link, se presentan los conectores M8 y M12, de cuatro hilos blindados y estos no pueden estar de forma trenzada.



Figura 51. Conectores estándar IO-Link M12

-El sistema deberá contar con 2 dispositivos (1 digital 1 ON OFF)

Los sensores BMP280 y el LJ12a3-4z/BY son los sensores puestos en este documento cumpliendo sus características respectivamente

-El protocolo deberá usar los 4 hilos para su comunicación (L+, L-, C/Q, I/Q)

El conector M12 de 4 hilos es el encargado de hacer la conexión entre master y device, sin embargo se presenta un adaptador para los estudiantes, para su sensor ON OFF, en dado caso que estos no presenten su propio adaptador con terminación M12 hembra, para así seguir con el estándar y el cable es quien hace la conexión final entre master y sensor

-El dispositivo debe funcionar a 24VDC que se entregan por las líneas L+ y L-. Cualquier voltaje adicional necesario se deberá generar localmente en el dispositivo.

La tarjeta master, cuenta con un puerto de alimentación, el cual se entrega al cliente con acceso a bananas convencionales para que los estudiantes puedan alimentar la tarjeta sin necesidad de tener acceso a las tarjetas directamente.



following items:

Figura 52. Conectores tarjeta Master

A la izquierda, en la bornera de 5 entradas se aprecia la entrada io link de la tarjeta master, junto a ella, se presenta una bornera de 3 pines, GND, VH, y L+, respectivamente leyendo de izquierda a derecha, en esta bornera mencionada se aplica un adaptador para que el estudiante pueda alimentar el sistema sin necesidad de manipular las tarjetas, esto con el fin de minimizar los riesgos de una mala conexión por parte del usuario

-El stack debe ser de tipo comercial y no desarrollado; no hay restricción sobre el fabricante, pero debe ser de licencia libre o demostración, pero sin fecha de expiración.

StMicroelectronics brinda un stack el cual funciona de forma continua durante 30 minutos, este al llegar a ese tiempo solicita al usuario reiniciar el sistema, y desde ese momento se reanudan los 30 minutos

7.2.3 Calidad

Visualización (interfaz, hombre máquina) que se puede ver y hacer

Debido a que se mantiene una limitación por fabricante, esté de por sí brinda una interfaz que era utilizada para los sensores de la tarjeta auxiliar, la cual se usa para tener una visualización correcta de las variables, sin embargo, no se puede hacer una manipulación en caliente aunque por medio del IODD se pueden hacer todas las modificaciones pertinentes del

sensor incluso muchas de la interfaz pueden ser modificadas desde este mismo, mostradas en la Figura 52.

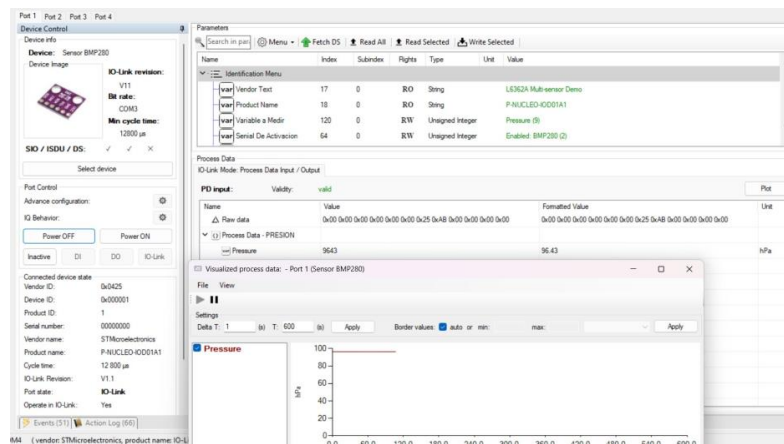


Figura 52. Interfaz H/M IO-Link Control Tool

8. CONCLUSIONES

Con este proyecto, se logra realizar un sistema de sensorica, como complemento para el área de sensórica de la Universidad El Bosque, durante el desarrollo del mismo, se puede concluir, que debido al tipo de tarjetas de desarrollo seleccionadas, se tienen diferentes limitaciones, más allá del Stack software, las cuales son netamente debido al fabricante, encontrando que la integración de nuevos sensores, se facilita, si se escogiera un sensor que pertenezca al mismo fabricante de las tarjetas de desarrollo, ya que, StMicroelectronics, como es el caso de este proyecto, mantiene una estructura similar para el desarrollo de sensores pequeños, manteniendo ciertas definiciones de registros, de manera estandarizada.

- Se logra cumplir con un 100% de los objetivos propuestos en el documento.
- Debido a las limitaciones presentadas por los distribuidores y fabricantes del stack, al no ser desarrollado y ser de tipo comercial, se logra un cumplimiento del 95% de los requerimientos funcionales del sistema, con excepción de la señalización de eventos y programación en caliente del dispositivo.
- Bajo el estándar de IO-Link, se logran cumplir todos los requerimientos de restricción.
- La unidad de medición va ligada al valor numérico otorgado al sensor en su respectivo IODD
- Se logra realizar un diseño y una implementación funcional utilizando el Sensor digital BMP280 y el sensor analógico LJ2A3-4-Z/BY, demostrando la facilidad de integración que provee IO-Link para la adaptación de pequeños sensores.
- Se genera una conectividad exitosa al sensor ON OFF
- La interfaz es capaz de identificar tanto un sensor tradicional ON OFF como uno Digital, siempre y cuando se cambien las características en la interfaz hombre maquina

-Dado que hay limitaciones impuestas por los componentes adquiridos, la comunicación entre el dispositivo esclavo y el dispositivo maestro se asegura mediante el protocolo IO-Link. El correcto funcionamiento del sistema de sensores depende críticamente de la caracterización y parametrización del sensor.

- En caso de fallas en estos aspectos, el sistema no reconocerá la presencia de un sensor válido para su uso.

-En el caso del sensor BMP280, se hace necesaria una compensación de las variables de lectura, para poder mejorar la precisión de los valores medidos.

-Se concluye que uno de los mayores beneficios que se tiene al utilizar el Protocolo IO Link, radica en la versatilidad que este provee al momento de realizar integración con diferentes sensores, este protocolo permite, tanto el uso de sensores digitales más contemporáneos al igual que permite el uso de sensores que utilicen tecnologías más antiguas y que van cayendo en desuso, dando la capacidad de realizar una integración que pueda llegar a necesitar de sensores nuevos o antiguos

9. RECOMENDACIONES

1. Para aquellos interesados, es importante considerar que el sistema está diseñado por StMicroelectronics. Se ha notado que, al utilizar sensores de este mismo fabricante, el proceso de homologación se simplifica considerablemente, dado que las variables se ajustan a un criterio de programación coherente y uniforme.
2. En caso de no encontrar un sensor del fabricante StMicroelectronics, se recomienda realizar una búsqueda de un sensor que cuente con un número adecuado de registros. De esta manera, será posible traducir los registros de este nuevo sensor al lenguaje del sistema de manera más exhaustiva y completa.
3. Quienes deseen integrar nuevos dispositivos al sistema deben tener en cuenta la limitación del stack proporcionado por el fabricante. Este stack opera en el núcleo de la tarjeta maestra, y su capacidad de soporte es importante considerar al incorporar nuevos dispositivos al sistema.

- [8] IO Link Specification in Brief, ‘Figure 11: IODD structure’ , Nov 24 / 2008, IO Link Consortium. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>.
- [9] IO-Link Device Software, ‘Io_Link_Device_Stack , 2018, TMG - TE. [Online]. Available: <https://www.tmgte.de/en/products/communication-software/io-link-device-software>
- [10]STMicroelectronics, “STSW-IOD01 Mems Software,” *STMicroelectronics*. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/embedded-software/stsw-iod01.html>.
- [11] I. Texas, “Tida-010016,” TIDA-010016 reference design | TI.com. [Online]. Available: <https://www.ti.com/tool/TIDA-010016>.
- [12]“DTKs - IO-link wireless development kit ,” The B2B marketplace for industrial equipment. [Online]. Available: <https://www.directindustry.com/prod/kunbus-gmbh/product-103365-1974026.html>.
- [13] Getting started with P-NUCLEO-IOD01A1 IO-Link (v1.1.3) multi-sensor node, ‘Figure 1. P-NUCLEO-IOD01A1 STM32 Nucleo evaluation pack’, 2018, ST Microelectronics. [Online]. Available: [um2425-getting-started-with-pnucleoiod01a1-iolink-v113-multisensor-node-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/en/embedded-software/stsw-iod01.html)
- [14] D. Analog, “8-Port Poe-master with LTC2874 - Analog Devices,” 8-Port Poe-master with LTC2874. [Online]. Available: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/product-selector-card/dc2228a_teconcept_2013_flyer.pdf.
- [15]“DC2227A Evaluation Board | Analog Devices,” DC2227A Evaluation Board, 07-Nov-2014. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/dc2227a.html#eb-overview>.

- [16]“IO-Link-Master-Development-kit - Renesas,” IO-Link-Master-Development-kit. [Online]. Available: <https://www.renesas.com/us/en/products/microcontrollers-microprocessors/rz-cortex-a-mpus/io-link-master-development-kit-io-link-master-development-kit>.
- [18] Io-Link “IOL-Device-Description_10012_V10_090118.doc” IO Link Communication Specification V1.0 and IODD Schemas V1. xx-Jan-2009 [Book] Anexo 4
- [19] Bosch-Sensortec, “BMP280 Datasheet,” Bosch, 2021. [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/>
- [20] STMicroelectronics, “LPS22HB Datasheet,” *STM*, 2021. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lps22hb.html>.
- [21] STMicroelectronics, “Steval-IOM001V1,” *STMicroelectronics* [Online]. Available: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/steval-iom001v1.html>.
- [22]“P-nucleo-IOD01A1,” *STMicroelectronics*. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/ecosystems/p-nucleo-iod01a1.html>.
- [23]Pepperl+Fuchs, “IO-Link Operating principle,” *IO-Link Technology*,27- Aug-2019. [Online]. Available:<https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/36518.htm#:~:text=IO%2DLink%20has%20specified%20three,up%20to%20230.4%20kbit%2Fs>.

11. ANEXOS

ANEXO 1: GIO_1

ANEXO 2: GIO_2

ANEXO 3: GIO_3

ANEXO 4: TABLAS DE UNIDADES

ANEXO 5: MAUAL DE USUARIO

ANEXO 6: PLANO CAJAS

ANEXO 1: GIO_1

DESARROLLO ARCHIVO IODD

Objetivo:

Modifique y simplifique el archivo IODD acorde al sensor que desea implementar

Teoría:

IODD, traduce IO-Link Device Description, el cual almacena la información descriptiva del dispositivo propio del archivo, ya sean datos de integración, de proceso y diagnóstico

Este archivo se encuentra en el software de parametrización del device

Visualización

Todos los cambios se pueden visualizar mediante dos plataformas, ya sea el IODD viewer, por el IODD catalog, del control tool,

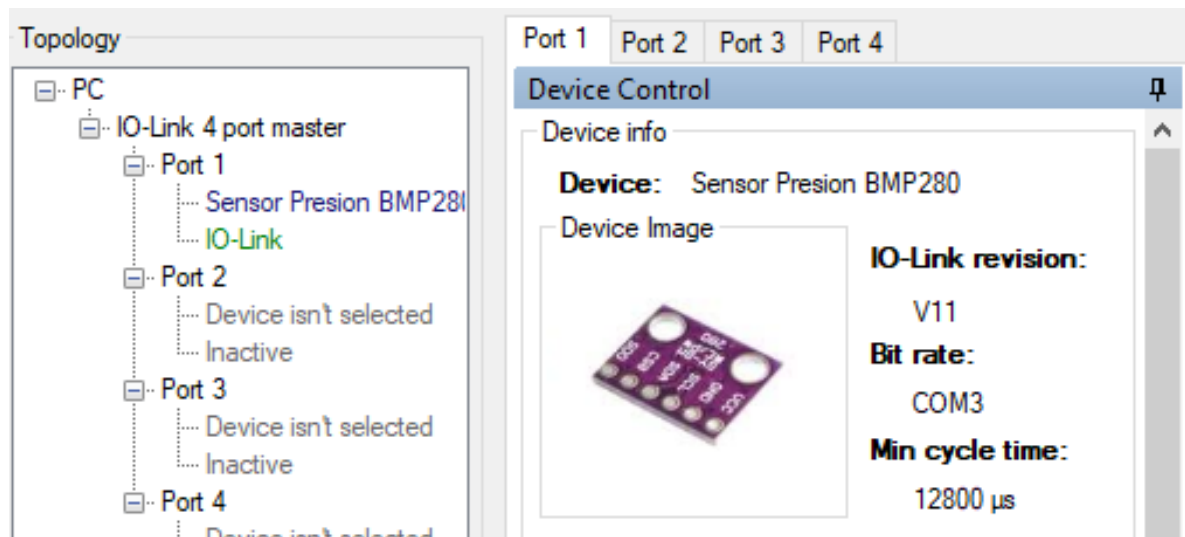


Figura 54. IODD Control Tool

SENSOR PRESION BMP280		
Vendor ID	646 (0x0286)	 <div>UNIVERSIDAD EL BOSQUE Vigilada Mineducación</div>
Vendor Name	VIDAL NARINONC	
Vendor Text	UEIBosque	
Vendor URL	www.unbosque.edu.com.co	
Device ID	1 (0x000001)	
DeviceFamily	Sensor Presion BMP280	
Features		
Block Parameter	no	
Data Storage	no	
Supported Access Locks	Parameter: yes, Data Storage: no, Local Parameterization: no, Local User Interface: no	
Communication		
IO-Link Revision	V1.1	
Transmission Rate	230400 bit/s (COM3)	
Minimum Cycle Time	12.8 ms	
SIO Mode Supported	yes	
M-Sequence Capability	PREOPERATE = TYPE_1_V with 32 octets on-request data OPERATE = TYPE_2_V with 32 octets on-request data ISDU supported	
Device Variant		
Device Variant	Sensor Presion BMP280	
Description	Sensor I2C Presion BMP280	
Product ID	1	
Device Icon		
Device Symbol		
Connection Type	No connector (just the cable)	

Figura 55. IO- Link Viewer

Procedimiento:

1. Modificar DeviceIdentity:

En esta sección se caracteriza la información del sensor

VendorName, Se refiere al nombre del fabricante

VendorLogo, Nombre del archivo que es llamado, debe tener el *VendorName* puesto previamente

1.1 Modificar DeviceVariant

En esta sección se llaman los archivos de imágenes relacionadas con el sensor

DeviceIcon, Hace referencia a la imagen del fabricante Software debe tener el *VendorName* puesto

DeviceSymbol. Imagen del Sensor debe tener el *VendorName* puesto

1.2 Modificar VendorName

VendorName, Se refiere al nombre del fabricante, en *DefaultValue* modificar el valor haciendo referencia a la variable previamente cambiada

1.3 Modificar ProductName

ProductName, Es el nombre del sensor, y se modifica en el *DefaultValue* respectivo

1.4 Modificar ProductText

ProductText, Se enfoca en la función del sensor, explicación corta, esta se modifica en el respectivo *DefaultValue*

2 Identificación De Variables

Variable id=

Entender e identificar si se decide usar una variable diferente a la tarjeta de sensores o una con las mismas características del sensor en la tarjeta.

este cambio permite ser visualizado al momento de la conexión del sensor con la interfaz, la variable del censo que se desee medir

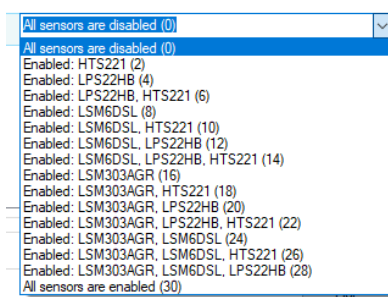


Figura 56. Cambios de variables IO Control Tool

Name textId="DT_nombreSensor"

Se aconseja dejar la variable `<Name textId="DT_NoSensor101" />`

3 Activación Del Sensor

Teniendo en cuenta la variable que se desea medir se debe habilitar dicha variable en el

Variable id = "V_ProcessDataLayout"

Esto permite la visualización correcta de la variable en el selector de variables

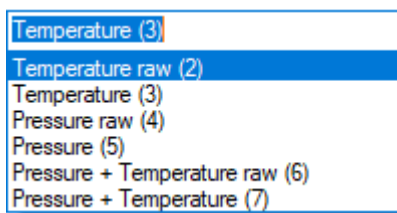


Figura 57. Selección de variables IO Control Tool

SingleValue Value="x" el orden que se quiere organizar la variable

Name textId="DT_variableXXXX" Variable a Medir

3.1 Confirmación de unidad de variable

NOTA: Seguida del nombre de la variable, existen 4 dígitos asociados a la unidad de medición, se recomienda mirar en la lista de variables iodd io link archivo

4 Procesamiento de datos

Habilitar la sección correspondiente a la variable del sensor en cuestión
Se debe tener en cuenta la información del dao que se procesa por medio de la comunicación I2C, cambiando los respectivos datos en la variable
“PD_ProcessDataVariable”

5 REFERENCIA DE VISUALIZACIÓN

Según su variable definida previamente se procede a configurar su representación digital en la sección de Process Data, ubicada en la parte inferior de la interfaz

IO-Link Mode: Process Data Input / Output

PD input:

Validity: valid

Plot

Name	Value	Formatted Value	Unit
△ Raw data	0x00 0x00 0x00 0x00 0x01 0x28 0x9F 0x00 0x00 ...	0x00 0x00 0x00 0x00 0x01 0x28 0x9F 0x00 0x00 ...	
▼ ⓘ Process Data - Pressure			
var Pressure	75935	759.35	hPa

Figura 58. Visualización Layout

6 Modificación del Texto fuera de interfaz

Esta sección modificara el texto externo y en el documento generado por el IODD checker que se encuentra en la interfaz, y se puede manejar el lenguaje de ciertas Variables

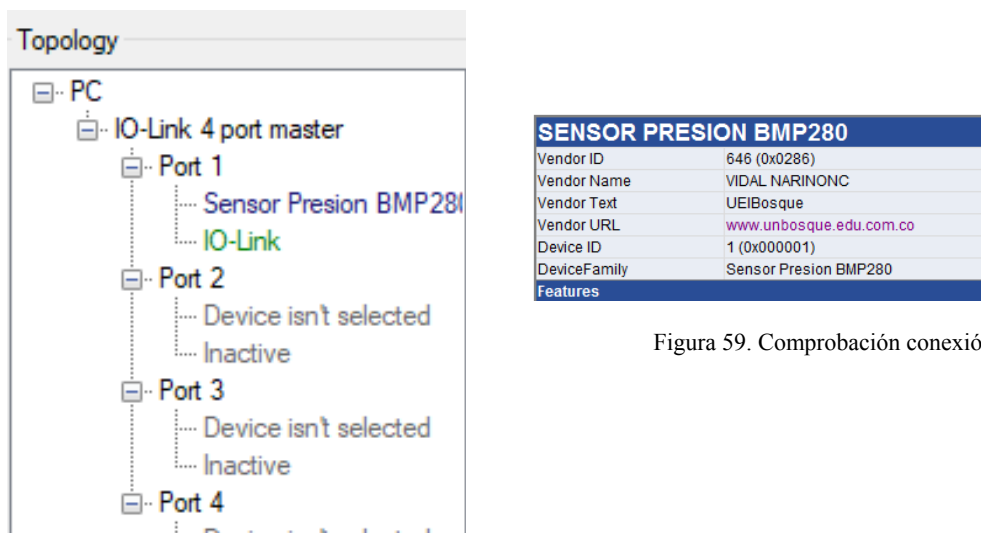


Figura 59. Comprobación conexión

VendorText=UElBosque,
DeviceName= Nombre del dispositivo Titulo
DeviceFamily= Que hace el sensor?
VendorUrl= link del fabricante
Decive_1_Name= Nombre del dispositivo (topology)

7 Procesar Datos

Ya con la variable identificada y adecuada, se llama la función y es procesada en el plot según su configuración

8 Preguntas

- ¿Se puede presentar un cambio en el idioma en la modificación del IODD?
- ¿Qué sucede al momento de agregar una variable conjunta, y esta ya está nombrada como default?
- En el apartado de ProcessDataLayout, es necesario nombrar las variables que se desean visualizar el código RT_DI ¿es repetible?

9. Anexo

Se presenta código TO-DO para Guiado

ANEXO 2: GIO_2

CREACIÓN LIBRERÍA SENSOR

Objetivo:

Desarrollar el archivo de encabezado (.h) del sensor elegido, utilizando la información proporcionada por el fabricante

Teoría:

El archivo de encabezado de librería del sensor, es el archivo de software de programación en C, el cual contiene los direccionamientos y las definiciones de funciones que posee el sensor.

Este archivo

Procedimiento.

Caracterización del sensor.

Se toma la documentación proporcionada por el fabricante del sensor, para realizar la correcta caracterización de este.

Se realiza una organización de la información relevante, perteneciente al datasheet, entre los datos a tener en cuenta, están, el mapa y definición de registros, cantidad de bits que componen cada uno de los registros

Caracterización de registros.

Tabla 7. Caracterización de Registros

Nombre del Registro	Dirección	Valor
Dirección I2C	0x76	
Identificación	0xD0	0x55

Reset	0xE0	
Configuración (Conf)	0xF5	
(Conf) Tiempo Stand By	Desde bit 5 hasta 7	Mascara 0xE0
(Conf) Filtro	Desde bit 2 hasta 4	Mascara 0x1C
(Conf) Habilitador SPI	Bit 0	
Crtl_Meas (CM)	0xF4	
(CM) Muestreo Temp	Desde bit 5 hasta 7	Mascara 0xE0
(CM) Muestreo Press	Desde bit 2 hasta 4	Mascara 0x1C
(CM) Modo Trabajo	Desde bit 0 has 1	Mascara 0x03
Status (ST)	0xF3	
(ST) Medición	Bit 3	
(ST) Actualización	Bit 0	
Xlbs_temp	0xFC	
Lbs_temp	0xFB	
Mbs_temp	0xFA	
Xlbs_press	0xF9	
Lbs_press	0xF8	
Mbs_press	0xF7	

Caracterización de variables de medición

Se debe tener en cuenta, la cantidad de bits que tiene la variable o variables de medición, en el caso del BMP280 se tiene lo siguiente

Temperatura: 16Bits

Presión: 32Bits

Se realiza la definición de variables de salida:

```
typedef struct
{
    int16_t Tout; /*!< Temperature output */
    int32_t Pout; /*!< Pressure output */
} BMP280_MeasureTypeDef_st;
```

Caracterización de funcionalidades.

Los diferentes sensores pueden contener en sí mismos, diferentes funcionalidades, tales como, modos de trabajo, filtros, sobre muestreo. Estos datos son aquellos que se utilizan para realizar la operación del sensor, teniendo en cuenta filtrado de la señal, tipo de muestreo de la medición, modos de trabajo, resolución, entre otros.

Para el Sensor BMP280, se tienen los siguientes parámetros.

Sobre muestreo Presión: x1, x2, x4, x8, x16

Sobre muestreo Temperatura: x1, x2, x4, x8, x16

Tabla 8. Direccionamiento de parámetros

Skip	X1	X2	X4	X8	X16
0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05

Coeficiente de filtro

Tabla 9. Coeficiente de filtro

Off	X2	X4	X8	X16
0x00	0x01	0x02	0x03	0x04

Duración Stand By

Tabla 10. Duración de Stand By

0.5ms	62.5 ms	125 ms	250 ms	500 ms	1000 ms	2000 ms	4000 ms
0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07

Modo de Trabajo

Tabla 11. Modo de trabajo

Normal	Forzado	Sleep
0x03	0x01	0x00

Actualización Bloque de datos

Tabla 12. Actualización bloque de datos

Continuo	Bloqueado
0x00	0x01

Habilitación Comunicación SPI

Tabla 13. Habilitación Comunicación SPI

SPI Habilitado	SPI deshabilitado
0x01	0x00

Estructura archivo de encabezado.

```
#ifndef INC_BMP280_DRIVER_H_
#define INC_BMP280_DRIVER_H_

/*****
*** Variable Declaration for BMP280 Bosch Sensor
*****/

#endif /* INC_BMP280_DRIVER_H_ */
```

Desarrollo código.

Adjunto en Anexos BM280_Driver.h

ANEXO 3: GIO_3

Integración y Modificación Mems Application

Objetivo:

Realizar la integración de la librería creada para el sensor elegido, y modificar la programación de MEMS Application, para que esta sea concordante con el sensor que se está utilizando

Teoría:

El software MEMS Application, es la capa de software intermedia, con la cual el usuario se comunica y esta a su vez, es aquella que organiza la información proveniente del sensor para que sea comunicada al Stack IO Link.

Ubicación de archivos en la estructura de carpetas

Archivos header (Librería, Driver y Application)

estos archivos se ubican en la siguiente ruta:

P-NUCLEO-IOD01A1_DemoLib\source\app_iks01a2\inc

Archivos de aplicación (Driver y Application)

P-NUCLEO-IOD01A1_DemoLib\source\app_iks01a2

Desarrollo

- Integración Librería.

El proceso de integración del archivo de librería (SENSOR)_Driver.h, se realiza por medio de una declaración simple en el archivo de encabezado mems_driver.h, esta declaración



funciona como invocación del archivo creado, para que el software pueda utilizar los parámetros declarados, en las funciones descritas por MEMS Application

```
/* import driver' headers */  
#include "BMP280_driver.h"
```

- **Modificación Archivos de encabezado Mems_Driver y Mems_Application.**

Mems_Driver.h

Este Archivo, contiene la menor cantidad de modificaciones, ya que en este solo se realiza la definición de las funciones con sus parametrizaciones y no la inicialización de las mismas.

Entre las funciones que se definen en este archivo están, Inicialización y Apagado, lectura de variables de medición en formato crudo y formato en unidades entendibles a la lectura humana (°C, HPa)

```
/*  
 * BMP280  
 */  
void BMP280_Init ( BMP280_ConfigTypeDef_st *pBMP280Init ) ;  
void BMP280_DeInit ( void ) ;  
void BMP280_Get_RawPressure ( int32_t *raw_press ) ;  
void BMP280_Get_Pressure ( int32_t *Pout, int32_t *raw_press ) ;  
void BMP280_Get_RawTemperature( int16_t *raw_data ) ;  
void BMP280_Get_Temperature ( int16_t *Tout, int16_t *raw_data ) ;
```

Mems_Application.h

La modificación en el archivo de encabezado de la aplicación, es uno de los archivos mas importantes para modificar, se debe prestar especial atención a las variables definidas en la librería creada para el sensor, debido a que en application.h, estas variables son utilizadas, para realizar la correcta integración de las funciones del sensor, con las configuraciones globales de la interfaz



```
#define _WITH_BMP280 /*!< define this, if the BMP280 sensor is used in the MENS application */

/*
| * 2. Initialize global parameters
| */
/*! Set Default enabled sensor set, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_sensor_activator_____on_index_64. */
#define MEMS_DEFAULT_ENABLED_____SENSORS (E_BMP280__EN)
/*! Set PDIN format, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_pdinput_format_selection_on_index_120. */
#define MEMS_DEFAULT_PDIN_____FORMAT (E_HUMAN_READABLE_FORM | E_TEMPERATURE_____FORM | E_PRESSURE_____FORM)
/*! Default Gain-Error set, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_gainerror_correction_____on_index_81. */
#define MEMS_DEFAULT_GAINERROR_____SET (0)
/*! Default teach-calibration set, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_teach_calibration_____on_index_121. */
#define MEMS_DEFAULT_PARAM_TEACH_CALIBRATION (0)
/*! Default calibration data, this is only an initialization value for the mems_isdu_param_calibration_data_____on_index_80. */
#define MEMS_DEFAULT_CALIBRATION_____DATA (0)

/*
| * 3. Set BMP280 configuration
| */

#define BMP280_CONF_ODR (BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_2X) /*!< Set OutputDataRate : Output Data Rate
#define BMP280_CONF_LFP (BMP280_DISABLE) /*!< Set LowPassFilter : Enable/ Disable Low Pass Filter */
#define BMP280_CONF_LPC (BMP280_ODR_9) /*!< Set LPF_Cutoff : Low Pass Filter Configuration */
#define BMP280_CONF_SIM (BMP280_SPI_4_WIRE) /*!< Set Sim : SPI Serial Interface Mode selection */
#define BMP280_CONF_TAI (BMP280_DISABLE) /*!< Set IfAddInc : Enable/Disable Register address automatically incremented during a multiple byte access */

#define BMP280_CONF_POM (BMP280_POWER_MODE_NORMAL) // Set Power Mode: Normal mode
#define BMP280_CONF_TEMP_OVERSAMPLING (BMP280_TEMP_OVERSAMPLING_2X) // Set Temperature Oversampling: 2x
#define BMP280_CONF_PRESS_OVERSAMPLING (BMP280_PRESSURE_OVERSAMPLING_16X) // Set Pressure Oversampling: 16x
#define BMP280_CONF_STANDBY_DURATION (BMP280_STANDBY_DURATION_62_5_MS) // Set Standby Duration: 62.5 ms
#define BMP280_CONF_FILTER_COEFF (BMP280_FILTER_COEFF_4) // Set Filter Coefficient: 4
#define BMP280_CONF_BDU (BMP280_BDU_CONTINUOUS) // Set Block Data Update: Continuous
#define BMP280_CONF_SPI_ENABLE (BMP280_SPI_DISABLE) // Set SPI Mode: SPI Mode Disabled
#define BMP280_CONF_IF_ADD_INC (BMP280_ADDR_INC_ENABLE) // Set Register Address Increment: Enabled
```

Una vez hechas las declaraciones de configuración, se procede a realizar la definición de las estructuras que utilizan las configuraciones previas, esta configuración realiza la declaraciones necesaria para la activación y el control del sensor, definición del layout para los datos de proceso, así como también los controladores de parametrización del sensor.

```
/*
| *****
| ** Global data type definitions
| *****
| */

/*! PDIN Layout control */
typedef enum
> { ...
} E_MEMS_PROCCCESS_DATA_LAYOUT_t ;

/*! PDIN Layout control */
typedef enum
> { ...
} E_MEMS_SENSOR_ACTIVATOR_t ;

/*! Sensor control */
typedef enum
> { ...
} E_MEMS_IC_SENSOR_ACTIVATOR_t ;

/*! MEMS app Handler responses */
typedef enum
> { ...
} E_HANDLER_RESPONSE_t ;

/*! MEMS app Parameter Handler responses */
typedef enum
> { ...
} E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t ;

/*! Sensors measurement data */
typedef struct
> { ...
} s_mems_isdu_parameters_t ;
```


Una vez realizadas las modificaciones en los archivos de encabezado, se procede a realizar las modificaciones en los archivos C tanto de Mems driver como application

Mems_Driver.C

En este archivo se encuentran las funciones más importantes relacionadas con el funcionamiento del sensor, las cuales están divididas en dos grandes bloques.

el primero de esto bloques, contiene la definición de las funciones de comunicación que posee el sensor, entre las funciones que encontramos en este bloque, se encuentran las funciones de lectura y escritura de los registros, las funciones de seteo de los bits y sus respectivas máscaras, utilizadas en la definición de la librería del sensor, así como también contiene la función de transformación de datos, en este caso, la función de transformación a complemento a 2, para el manejo de la lectura de las variables de medición.

```
/*
 * I2C support
 */

/**
 * @brief Read sensor register in I2C Master mode.
 * @param reg_address This is the SUB. Register address.
 * @param data_ptr Pointer on the data.
 * @param data_length Length of data.
 * @return None.
 */
> static void ReadReg( s_sensor_i2c_addr_t reg_address, uint8_t data_length, uint8_t *data_ptr ){ ...
}

/**
 * @brief Write BMP280 register in I2C Master mode.
 * @param reg_address This is the SUB. Register address.
 * @param data_ptr Pointer on the data.
 * @param data_length Length of data.
 * @return None.
 */
> static void WriteReg( s_sensor_i2c_addr_t reg_address, uint8_t data_length, uint8_t *data_ptr ){ ...
}
```

El archivo de driver.C, también contiene las funciones completas de inicialización y lectura de variables del sensor. Este es el bloque que mayores modificaciones requiere, debido a que tiene que ser concordante con las declaraciones de la librería del sensor, a su vez, en este bloque, es donde se deben implementar las funciones que el fabricante pueda recomendar para el correcto uso del sensor. En el caso del BMP280, este bloque contiene la función de compensación de lectura de variables, para tener resultados, más precisos al momento de realizar las mediciones.



```
/*----- Initialization -----*/

/**
 * @brief Initialization function for BMP280.
 * This function make a memory boot.
 * Init the sensor with a standard basic configuration.
 * Low Power, ODR 25 Hz, Low Pass Filter disabled; BDU enabled; I2C enabled;
 * NO FIFO; NO Interrupt Enabled.
 * @return None.
 */
void BMP280_Init( BMP280_ConfigTypeDef_st *pBMP280Init ){...
}

/**
 * @brief De-initialization function for BMP280.
 * This function make a memory boot and clear the data output flags.
 * @return None.
 */
void BMP280_DeInit( void ){...
}

/*----- Pressure -----*/

/**
 * @brief Get the BMP280 raw pressure value
 * The data are expressed as PRESS_OUT_H/_L/_XL in 2's complement.
 * Pout(hPA)=PRESS_OUT / 4096
 * @param raw_press is a pointer. pressure raw value
 * @return None.
 */
void BMP280_Get_RawPressure( int32_t *raw_press ){...
}

/**
 * @brief Get the BMP280 Pressure value in hPA and raw data.
 * The data are expressed as PRESS_OUT_H/_L/_XL in 2's complement.
 * Pout(hPA)=PRESS_OUT / 4096
 * @param Pout is the pressure value
 * @param raw_press is the pressure raw value
 * @return None.
 */
void BMP280_Get_Pressure( int32_t *Pout, int32_t *raw_press ){...
}
```

En este archivo se consolida las parametrizaciones y definiciones tanto de sensor como de aplicación para ser comunicadas hacia la interfaz hombre máquina, en este archivo, las modificaciones pertinentes consisten en la homologación de las funciones por medio de los nombres que se le dan a los parámetros en los archivos anteriores.

Este es uno de los archivos más importantes debido a que es aquel que permite la comunicación de la aplicación desarrollada con el Stack de IO Link, conteniendo en sí, los handlers, que transmiten las parametrizaciones al Stack.

```

/*****
 * ISDU param handlers
 *****/

/**
 * @brief Set sensor into the desired state: Enable / Disable according to setEN bit level.
 * @param setEN Its bit level determines which sensor enabled or disabled.
 * @retval None
 */
> E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t mems_app_sensorActivate(uint8_t setEN){ ...
}

/**
 * @brief The calibration values can be changed by the user. Their content is updated to the sensor.
 * @param calibrationData Set the calibration data for the sensor.
 * @return E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t The parameter handler type function retval.
 * @retval PARAMETER_HANDLER_IS_SUCCEEDED -> E_ISDU_WRITEPOSITIVE_RESPONSE is sent to Master.
 * @retval PARAMETER_HANDLER_ERROR_INVALID_PARAMETER -> ET_FUNC_UNAVAILTEMP is sent to Master (wrong parameter value).
 * @retval PARAMETER_HANDLER_ERROR_SENSOR_IS_NOT_AVAILABLE -> ET_FUNC_UNAVAILTEMP is sent to Master (sensor is not functional at the moment/error/not supported).
 */
> E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t mems_app_sensorCalibration(uint8_t* calibrationData) { ...
}

/**
 * @brief Initializes the HW resourced which are used by the MEMS Application
 * @param pdinputFormat Set the PDIN format for the sensor.
 * @return E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t The parameter handler type function retval.
 * @retval PARAMETER_HANDLER_IS_SUCCEEDED -> E_ISDU_WRITEPOSITIVE_RESPONSE is sent to Master.
 * @retval PARAMETER_HANDLER_ERROR_INVALID_PARAMETER -> ET_FUNC_UNAVAILTEMP is sent to Master (wrong parameter value).
 * @retval PARAMETER_HANDLER_ERROR_SENSOR_IS_NOT_AVAILABLE -> ET_FUNC_UNAVAILTEMP is sent to Master (sensor is not functional at the moment/error/not supported).
 */
> E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t mems_app_sensorPDInformat( uint8_t pdinputFormat ){ ...
}

/**
 * @brief Initializes the HW resourced which are used by the MEMS Application
 * @param techCalData Set the teach calibration data for the sensor.
 * @return E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t The parameter handler type function retval.
 * @retval PARAMETER_HANDLER_IS_SUCCEEDED -> E_ISDU_WRITEPOSITIVE_RESPONSE is sent to Master.
 * @retval PARAMETER_HANDLER_ERROR_INVALID_PARAMETER -> ET_FUNC_UNAVAILTEMP is sent to Master (wrong parameter value).
 * @retval PARAMETER_HANDLER_ERROR_SENSOR_IS_NOT_AVAILABLE -> ET_FUNC_UNAVAILTEMP is sent to Master (sensor is not functional at the moment/error/not supported).
 */
> E_PARAMETER_HANDLER_RESPONSE_t app_mems_sensors_teach_calibration( uint8_t techCalData ){ ...
}

```

NOTAS.

Para la correcta modificación y prueba de la programación en los distintos archivos, se recomienda realizar el análisis del código fuente sin modificaciones junto a la documentación proporcionada por el fabricante, para lograr tener un conocimiento profundo de la estructura con la cual se realiza el desarrollo.

La utilizaciones de alias para los parametros asi como tambien el enmascaramiento de los bytes entre los registros, facilita la escalabilidad y la reutilizacion de codigo para simplificar la programación de esta aplicación, esto debido a que los múltiples parámetros,

son reutilizados en distintas partes del código, y eso facilita las modificaciones así como también el mantenimiento y la identificación de fallas en el mismo.

ANEXO 4: TABLAS DE UNIDADES

Tabla 14. Codificación de unidades

6 Coding of units

Code	Unit	Display Name
1000	K	Kelvin; SI
1001	°C	degree Celsius; delta-T 1°C = delta-T 1K
1002	°F	degree Fahrenheit
1003	°R	degree Rankine
1004	r	radian; 1 r = 1 m/m = 1
1005	°	degree; 1° = (p/180)rad
1006	'	minute; 1' = (1°/60)
1007	"	second; 1" = (1'/60)
1008	gon	gon (or grade); 1 gon = (p/200)rad
1009	rev	revolution
1010	m	Meter; SI
1011	km	Kilometer
1012	cm	Centimeter
1013	mm	Millimeter
1014	µm	Micrometer
1015	nm	Nanometer
1016	pm	Picometer
1017	æ	Angstrom; 1 æ = 10 ⁻¹⁰ m
1018	ft	feet
1019	in	inch
1020	yd	yard
1021	Mile	1 Mile = 1609 m
1022	Nautical mile	Nautical mile; 1 nautical mile = 1852 meters
1023	m ²	Square meter
1024	km ²	Square kilometer
1025	cm ²	Square centimeter
1026	dm ²	square decimeter
1027	mm ²	Square millimeter
1028	a	are; 1 a = 10 ² m ²
1029	ha	Hectare; 1 ha = 10 ⁴ m ²
1030	in ²	Square inch
1031	ft ²	Square feet
1032	yd ²	Square yard
1033	mile ²	Square mile
1034	m ³	Cubic meter
1035	dm ³	Cubic decimeter
1036	cm ³	Cubic centimeter
1037	mm ³	Cubic millimeter
1038	L	Liters; 1 L = 10 ⁻³ m ³
1039	cl	Centiliter
1040	ml	Milliliter
1041	hl	Hectoliter
1042	in ³	Cubic inch
1043	ft ³	Cubic feet
1044	yd ³	Cubic yard

Code	Unit	Display Name
1045	mile ³	Cubic mile
1046	pint	Pint
1047	quart	Quart
1048	gallon	US gallon
1049	ImpGal	Imperial gallon
1050	bushel	Bushel
1051	bbl	barrel; 1 bbl = 42 US gallons
1052	bbl (liq)	Barrel liquid; 1 liquid bbl = 31.5 US gallons
1053	SCF	Standard cubic foot
1054	s	Second; SI
1055	ks	Kilosecond
1056	ms	millisecond
1057	µs	Microsecond
1058	min	Minute; 1 min = 60 s
1059	h	Hour; 1 h = 60 min
1060	d	Day; 1 d = 24 h
1061	m/s	Meter per second
1062	mm/s	Millimeter per second
1063	m/h	meter per hour
1064	km/h	Kilometer per hour
1065	knot	Knot; 1 knot = 1.852 km/h
1066	in/s	Inch per second
1067	ft/s	Feet per second
1068	yd/s	yard per second
1069	in/min	Inch per minute
1070	ft/min	Feet per minute
1071	yd/min	Yard per minute
1072	in/h	Inch per hour
1073	ft/h	Feet per hour
1074	yd/h	Yard per hour
1075	MPH	Miles per hour
1076	m/s ²	Meter per second per second (acceleration)
1077	Hz	Hertz; 1 Hz = 1 s ⁻¹
1078	THz	Terahertz
1079	GHz	Gigahertz
1080	MHz	Megahertz
1081	kHz	Kilohertz
1082	1/s	Per second
1083	1/min	Per minute
1084	Rev/s	Revolutions per second
1085	RPM	Revolutions per minute
1086	r/s	Radian per second
1087	1/s ²	Per second per second
1088	kg	Kilogram; SI
1089	g	Gram
1090	mg	Milligram
1091	Mg	Megagram

Code	Unit	Display Name
1092	t	Metric ton; 1 t = 10 ³ kg
1093	oz	Ounce
1094	lb	Pound (mass)
1095	STon	Short ton; 1 short ton = 2000 pounds
1096	LTon	Long ton; 1 long ton = 2240 pounds
1097	kg/m ³	Kilograms per cubic meter
1098	Mg/m ³	Megagrams per cubic meter
1099	kg/dm ³	Kilograms per cubic decimeter
1100	g/cm ³	Grams per cubic centimeter
1101	g/m ³	Grams per cubic meter
1102	t/m ³	Metric tons per cubic meter
1103	kg/L	Kilograms per liter
1104	g/ml	Grams per milliliter
1105	g/L	Grams per liter
1106	lb/in ³	Pounds per cubic inch
1107	lb/ft ³	Pounds per cubic foot
1108	lb/gal	Pounds per US gallon
1109	STon/yd ³	Short tons per cubic yard; 1 STon = 2000 pounds
1110	degTwad	Degrees Twaddell
1111	degBaum hv	Degrees Baume heavy
1112	degBaum lt	Degrees Baume light
1113	degAPI	Degrees API
1114	SGU	Specific gravity units
1115	kg/m	Kilograms per meter
1116	mg/m	Milligrams per meter
1117	tex	Tex; 1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m = 1 g/km
1118	kg/m ²	Kilogram per square meter
1119	kg m/s	Kilogram meter per second
1120	N	Newton; 1 N = 1 kg m/s ²
1121	MN	Meganewton
1122	kN	Kilonewton
1123	mN	Millinewton
1124	μN	Micronewton
1125	kg-m ² /s	Kilogram square meter per second
1126	Nm	Newton meter
1127	MNm	Meganewton meter
1128	kNm	Kilonewton meter
1129	mNm	Millinewton meter
1130	Pa	Pascal; 1 Pa = 1 N/m ²
1131	GPa	Gigapascal
1132	MPa	Megapascal
1133	kPa	Kilopascal
1134	mPa	Millipascal
1135	μPa	Micropascal
1136	hPa	Hectopascal
1137	bar	bar; 1 bar = 100 kPa
1138	mbar	Millibar; 1 mbar = 1 hPa

Code	Unit	Display Name
1139	torr	Torr; 1 Torr = 1 mmHg at 0 °C and 1 g
1140	atm	Atmospheres
1141	psi	Pounds per square inch; unreferenced or differential pressure
1142	psia	Pounds per square inch absolute; referenced to a vacuum
1143	psig	Pounds per square inch guage; referenced to atmosphere
1144	g/cm ²	Gram per square centimeter
1145	kg/cm ²	Kilogram per square centimeter
1146	inH ₂ O	Inches of water
1147	inH ₂ O (4°C)	Inches of water at 4°C
1148	inH ₂ O (68°F)	Inches of water at 68°F
1149	mmH ₂ O	Millimeters of water
1150	mmH ₂ O (4°C)	Millimeters of water at 4°C
1151	mmH ₂ O (68°F)	Millimeters of water at 68°F
1152	ftH ₂ O	Feet of water
1153	ftH ₂ O (4°C)	Feet of water at 4°C
1154	ftH ₂ O (68°F)	Feet of water at 68°F
1155	inHg	Inches of mercury
1156	inHg (0°C)	Inches of mercury at 0°C
1157	mmHg	Millimeters of mercury
1158	mmHg (0°C)	Millimeters of mercury at 0°C
1159	Pa-s	Pascal second
1160	m ² /s	square meter per second
1161	P	Poise
1162	cP	Centipoise; 1 cP = 1 mPa-s
1163	St	Stokes
1164	cSt	Centistokes; 1 cSt = 1 mm ² /s
1165	N/m	Newton per meter
1166	mN/m	Millinewton per meter
1167	J	Joule; 1 J = 1 N-m
1168	EJ	Exajoules
1169	PJ	Petajoules
1170	TJ	Terajoules
1171	GJ	Gigajoules
1172	MJ	Megajoules
1173	kJ	Kilojoules
1174	mJ	Millijoules
1175	WH	Watt hour; 1 W-h = 3.6 kJ
1176	TWH	Terawatt hour
1177	GWH	Gigawatt hour
1178	MWH	Megawatt hour
1179	KWH	Kilowatt hour
1180	cal	Calorie; 1 cal = 4.184 J
1181	kcal	Kilocalorie
1182	Mcal	Megacalorie
1183	Btu	British thermal unit; 1 Btu = 0.2519958 kcal
1184	decatherm	Dekatherm; 1 decatherm = 10 ⁵ BTU

Code	Unit	Display Name
1185	ft-lb	Foot-pound
1186	W	Watt; 1 W = 1 J/s
1187	TW	Terawatt
1188	GW	Gigawatt
1189	MW	Megawatt
1190	KW	Kilowatt
1191	mW	Milliwatt
1192	μ W	Microwatt
1193	nW	Nanowatt
1194	pW	Picowatt
1195	Mcal/h	Megacalorie per hour
1196	MJ/h	Megajoule per hour
1197	Btu/h	British thermal unit per hour
1198	hp	Horsepower
1199	W/(m-K)	Watt per meter kelvin
1200	W/(m ² -K)	Watt per square meter kelvin
1201	m ² -K/W	Square meter kelvin per watt
1202	J/K	Joule per kelvin
1203	kJ/K	Kilojoule per kelvin
1204	J/(kg-K)	Joule per kilogram kelvin
1205	kJ/(kg-K)	Kilojoule per kilogram kelvin
1206	J/kg	Joule per kilogram
1207	MJ/kg	Megajoule per kilogram
1208	kJ/kg	Kilojoule per kilogram
1209	A	Ampere; SI
1210	kA	Kiloampere
1211	mA	Milliampere
1212	μ A	Microampere
1213	nA	Nanoampere
1214	pA	Picoampere
1215	C	Coulomb; 1 C = 1 A-s
1216	MC	Megacoulomb
1217	kC	Kilocoulomb
1218	μ C	Microcoulomb
1219	nC	Nanocoulomb
1220	pC	Picocoulomb
1221	Ah	Ampere hour; 1 Ah = 3.6 kC
1222	C/m ³	Coulomb per cubic meter
1223	C/mm ³	Coulomb per cubic millimeter
1224	C/cm ³	Coulomb per cubic centimeter
1225	kC/m ³	Kilocoulomb per cubic meter
1226	mC/m ³	Millicoulomb per cubic meter
1227	μ C/m ³	Microcoulomb per cubic meter
1228	C/m ²	Coulomb per square meter
1229	C/mm ²	Coulomb per square millimeter
1230	C/cm ²	Coulomb per square centimeter
1231	kC/m ²	Kilocoulomb per square meter
1232	mC/m ²	Millicoulomb per square meter

Code	Unit	Display Name
1233	$\mu\text{C}/\text{m}^2$	Microcoulomb per square meter
1234	V/m	Volt per meter
1235	MV/m	Megavolt per meter
1236	KV/m	Kilovolt per meter
1237	V/cm	Volt per centimeter
1238	mV/m	Millivolt per meter
1239	$\mu\text{V}/\text{m}$	Microvolt per meter
1240	V	Volt; 1 V = 1 W/A
1241	MV	Megavolt
1242	KV	Kilovolt
1243	mV	Millivolt
1244	μV	Microvolt
1245	F	Farad; 1 F = 1 C/V
1246	mF	Millifarad
1247	μF	Microfarad
1248	nF	Nanofarad
1249	pF	Picofarad
1250	F/m	Farad per meter
1251	$\mu\text{F}/\text{m}$	Microfarad per meter
1252	nF/m	Nanofarad per meter
1253	pF/m	Picofarad per meter
1254	C-m	Coulomb meter
1255	A/m^2	Ampere per square meter
1256	MA/m^2	Megampere per square meter
1257	A/cm^2	Ampere per square centimeter
1258	kA/m^2	Kiloampere per square meter
1259	A/m	Ampere per meter
1260	KA/m	Kiloampere per meter
1261	A/cm	Ampere per centimeter
1262	T	Tesla; 1 T = 1 Wb/ m^2
1263	mT	Millitesla
1264	μT	Microtesla
1265	nT	Nanotesla
1266	Wb	Weber; 1 Wb = 1 V-s
1267	mWb	Milliweber
1268	Wb/m	Weber per meter
1269	KWb/m	Kiloweber per meter
1270	H	Henry; 1 H = 1 Wb/A
1271	mH	Millihenry
1272	μH	Microhenry
1273	nH	Nanohenry
1274	pH	Picohenry
1275	H/m	Henry per meter
1276	$\mu\text{H}/\text{m}$	Microhenry per meter
1277	nH/m	Nanohenry per meter
1278	Am^2	Ampere square meter
1279	Nm^2/A	Newton square meter per ampere
1280	Wb-m	Weber meter

Code	Unit	Display Name
1281	Ohm	Ohm; 1 W = 1 V/A
1282	GOhm	GigaOhm
1283	MOhm	Megaohm
1284	kOhm	Kiloohm
1285	mOhm	Milliohm
1286	μOhm	Microohm
1287	S	Siemens; 1 S = 1 W-1
1288	kS	Kilosiemens
1289	mS	Millisiemens
1290	μS	Microsiemens
1291	Ohm-m	Ohm meter
1292	GOhm-m	GigaOhm meter
1293	MOhm-m	MegaOhm meter
1294	kOhm-m	Kiloohm meter
1295	Ohm-cm	Ohm centimeter
1296	mOhm-m	Milliohm meter
1297	μOhm m	Microohm meter
1298	nOhm m	Nanoohm meter
1299	S/m	Siemens per meter
1300	MS/m	Megasiemens per meter
1301	kS/m	Kilosiemens per meter
1302	mS/cm	Millisiemens per centimeter
1303	mS/mm	Microsiemens per millimeter
1304	1/H	Per henry
1305	sr	Steradian; 1 sr = 1 m ² /m ² = 1
1306	W/sr	Watt per steradian
1307	W/(sr-m ²)	Watt per steradian square meter
1308	W/(m ²)	Watt per square meter
1309	lm	Lumen; 1 lm = 1 cd-sr
1310	lm-s	Lumen second
1311	lm-h	Lumen hour; 1 lm-h = 3600 lm-s
1312	lm/m ²	Lumen per square meter
1313	lm/W	Lumen per watt
1314	lx	Lux; 1 lx = 1 lm/m ²
1315	lx-s	Lux second
1316	cd	Candela; SI
1317	cd/m ²	Candela per square meter
1318	g/s	Gram per second
1319	g/min	Gram per minute
1320	g/h	Gram per hour
1321	g/d	Gram per day
1322	kg/s	Kilogram per second
1323	kg/min	Kilogram per minute
1324	kg/h	Kilogram per hour
1325	kg/d	Kilogram per day
1326	t/s	Metric ton per second; 1 t = 1000 kg
1327	t/min	Metric ton per minute; 1 t = 1000 kg
1328	t/h	Metric ton per hour; 1 t = 1000 kg

Code	Unit	Display Name
1329	t/d	Metric ton per day
1330	lb/s	Pound per second
1331	lb/min	Pound per minute
1332	lb/h	Pound per hour
1333	lb/d	Pound per day
1334	STon/s	Short ton per second; 1 STon = 2000 pounds
1335	STon/min	Short ton per minute
1336	STon/h	Short ton per hour
1337	STon/d	Short ton per day
1338	LTon/s	Long ton per second; 1 LTon = 2240 pounds
1339	LTon/min	Long ton per minute
1340	LTon/h	Long ton per hour
1341	LTon/d	Long ton per day
1342	%	Percent
1343	% sol/wt	Percent solids per weight
1344	% sol/vol	Percent solids per volume
1345	% stm qual	Percent steam quality
1346	% plato	Percent plato
1347	m ³ /s	Cubic meter per second
1348	m ³ /min	Cubic meter per minute
1349	m ³ /h	Cubic meter per hour
1350	m ³ /d	Cubic meter per day
1351	L/s	Liter per second
1352	L/min	Liter per minute
1353	L/h	Liter per hour
1354	L/d	Liter per day
1355	ML/d	Megaliter per day
1356	CFS	Cubic feet per second
1357	CFM	Cubic feet per minute
1358	CFH	Cubic feet per hour
1359	ft ³ /d	Cubic feet per day
1360	SCFM	Standard cubic feet per minute
1361	SCFH	Standard cubic feet per hour
1362	gal/s	US gallon per second
1363	GPM	US gallon per minute
1364	gal/h	US gallon per hour
1365	gal/d	US gallon per day
1366	Mgal/d	Mega US gallon per day
1367	ImpGal/s	Imperial gallon per second
1368	ImpGal/min	Imperial gallon per minute
1369	ImpGal/h	Imperial gallon per hour
1370	ImpGal/d	Imperial gallon per day
1371	bbl/s	Barrel per second; 1 bbl = 42 US gallons
1372	bbl/min	Barrel per minute
1373	bbl/h	Barrel per hour
1374	bbl/d	Barrel per day
1375	W/m ²	Watt per square meter
1376	mW/m ²	Milliwatt per square meter

Code	Unit	Display Name
1377	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	Microwatt per square meter
1378	pW/m^2	Picowatt per square meter
1379	$\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$	Pascal second per cubic meter
1380	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}$	Newton second per meter
1381	$\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$	Pascal second per meter
1382	B	Bel
1383	dB	decibel; 1 dB = 10·1B
1384	mol	Mole; SI
1385	kmol	kilomole
1386	mmol	Millimole
1387	μmol	Micromole
1388	kg/mol	Kilogram per mole
1389	g/mol	Gram per mole
1390	m^3/mol	Cubic meter per mole
1391	dm^3/mol	Cubic decimeter per mole
1392	cm^3/mol	Cubic centimeter per mole
1393	L/mol	Liters per mole
1394	J/mol	Joule per mole
1395	kJ/mol	Kilojoule per mole
1396	$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$	Joule per mole kelvin
1397	mol/m^3	Mole per cubic meter
1398	mol/dm^3	Mole per cubic decimeter
1399	mol/L	Mole per liter
1400	mol/kg	Mole per kilogram
1401	mmol/kg	Millimole per kilogram
1402	Bq	Becquerel; 1 Bq = 1·s ⁻¹
1403	MBq	Megabecquerel
1404	kBq	Kilobecquerel
1405	Bq/kg	Becquerel per kilogram
1406	kBq/kg	Kilobecquerel per kilogram
1407	MBq/kg	Megabecquerel per kilogram
1408	Gy	Gray; 1 Gy = 1 J/kg
1409	mGy	Milligray
1410	rad	Rad; 1 rad = 10 ⁻² Gy
1411	Sv	Sievert; 1 Sv = 1 J/kg
1412	mSv	Millisievert
1413	rem	Rem; 1 rem = 10 ⁻² Sv
1414	C/kg	Coulomb per kilogram
1415	mC/kg	Millicoulomb per kilogram
1416	R	Röntgen; 1 R = 2.58 x 10 ⁻⁴ C/kg
1417	$1/\text{J}\cdot\text{m}^3$	1 per Joule and cubic metre
1418	$\text{e}/\text{V}\cdot\text{m}^3$	electron volt per cubic metre
1419	m^3/C	Cubic meter per coulomb
1420	V/K	Volt per kelvin
1421	mV/K	Millivolt per kelvin
1422	pH	PH-Value
1423	ppm	Parts per million
1424	ppb	Parts per billion

Code	Unit	Display Name
1425	ppt	Parts per thousand
1426	degBrix	Degrees Brix
1427	degBall	Degrees Balling
1428	proof/vol	Proof per volume
1429	proof/mass	Proof per mass
1430	lb/ImpGal	Pound per Imperial gallon
1431	kcal/s	Kilocalorie per second
1432	kcal/min	Kilocalorie per minute
1433	kcal/h	Kilocalorie per hour
1434	kcal/d	Kilocalorie per day
1435	Mcal/s	Megacalorie per second
1436	Mcal/min	Megacalorie per minute
1437	Mcal/d	Megacalorie per day
1438	kJ/s	Kilojoules per second
1439	kJ/min	Kilojoules per minute
1440	kJ/h	Kilojoules per hour
1441	kJ/d	Kilojoules per day
1442	MJ/s	Megajoules per second
1443	MJ/min	Megajoules per minute
1444	MJ/d	Megajoules per day
1445	Btu/s	British thermal units per second
1446	Btu/min	British thermal units per minute
1447	Btu/day	British thermal units per day
1448	µgal/s	Micro US gallon per second
1449	mgal/s	Milli US gallon per second
1450	kgal/s	Kilo US gallon per second
1451	Mgal/s	Mega US gallon per second
1452	µgal/min	Micro US gallon per minute
1453	mgal/min	Milli US gallon per second
1454	kgal/min	Kilo US gallon per minute
1455	Mgal/min	Mega US gallon per minute
1456	µgal/h	Micro US gallon per hour
1457	mgal/h	Milli US gallon per hour
1458	kgal/h	Kilo US gallon per hour
1459	Mgal/h	Mega US gallon per hour
1460	µgal/d	Micro US gallon per day
1461	mgal/d	Milli US gallon per day
1462	kgal/d	Kilo US gallon per day
1463	µImpGal/s	Micro imperial gallon per second
1464	mImpGal/s	Milli imperial gallon per second
1465	kImpGal/s	Kilo imperial gallon per second
1466	MImpGal/s	Mega imperial gallon per second
1467	µImpGal/min	Micro imperial gallon per minute
1468	mImpGal/min	Milli imperial gallon per minute
1469	kImpGal/min	Kilo imperial gallon per minute
1470	MImpGal/min	Mega imperial gallon per minute
1471	µImpGal/h	Micro imperial gallon per hour
1472	mImpGal/h	Milli imperial gallon per hour

Code	Unit	Display Name
1473	kImpGal/h	Kilo imperial gallon per hour
1474	MImpGal/h	Mega imperial gallon per hour
1475	μImpGal/d	Micro imperial gallon per day
1476	mImpGal/d	Milli imperial gallon per day
1477	kImpGal/d	Kilo imperial gallon per day
1478	MImpGal/d	Mega imperial gallon per day
1479	μbbl/s	Microbarrel per second
1480	mbbl/s	Millibarrel per second
1481	kbbl/s	Kilobarrel per second
1482	Mbbl/s	Megabarrel per second
1483	μbbl/min	Microbarrel per minute
1484	mbbl/min	Millibarrel per minute
1485	kbbl/min	Kilobarrel per minute
1486	Mbbl/min	Megabarrel per minute
1487	μbbl/h	Microbarrel per hour
1488	mbbl/h	Millibarrel per hour
1489	kbbl/h	Kilobarrel per hour
1490	Mbbl/h	Megabarrel per hour
1491	μbbl/d	Microbarrel per day
1492	mbbl/d	Millibarrel per day
1493	kbbl/d	Kilobarrel per day
1494	Mbbl/d	Megabarrel per day
1495	μm ³ /s	Cubic micrometer per second
1496	mm ³ /s	Cubic millimeter per second
1497	km ³ /s	Cubic kilometer per second
1498	Mm ³ /s	Cubic megameter per second
1499	μm ³ /min	Cubic micrometer per minute
1500	mm ³ /min	Cubic millimeter per minute
1501	km ³ /min	Cubic kilometer per minute
1502	Mm ³ /min	Cubic megameter per minute
1503	μm ³ /h	Cubic micrometer per hour
1504	mm ³ /h	Cubic millimeter per hour
1505	km ³ /h	Cubic kilometer per hour
1506	Mm ³ /h	Cubic megameter per hour
1507	μm ³ /d	Cubic micrometer per day
1508	mm ³ /d	Cubic millimeter per day
1509	km ³ /d	Cubic kilometer per day
1510	Mm ³ /d	Cubic megameter per day
1511	cm ³ /s	Cubic centimeter per second
1512	cm ³ /min	Cubic centimeter per minute
1513	cm ³ /h	Cubic centimeter per hour
1514	cm ³ /d	Cubic centimeter per day
1515	kcal/kg	Kilocalorie per kilogram
1516	Btu/lb	British thermal unit per pound
1517	kL	Kiloliter
1518	kL/min	Kiloliter per minute
1519	kL/h	Kiloliter per hour
1520	kL/d	Kiloliter per day

Code	Unit	Display Name
1551	S/cm	Siemens per centimeter
1552	μ S/cm	Micro Siemens per centimeter
1553	mS/m	Milli Siemens per meter
1554	μ S/m	Micro Siemens per meter
1555	MOHM*cm	Mega Ohm times centimeter
1556	KOHM*cm	Kilo Ohm times centimeter
1557	Gew%	Percent of weight
1558	mg/l	Milligram per liter
1559	μ g/l	Microgram per Liter
1560	%Sät	Percent saturation
1561	vpm	vpm
1562	%vol	Volume percent
1563	mL/min	Milliliter per minute
1564	mg/dm ³	Milligram per cubic decimeter
1565	mg/l	Milligram per Liter
1566	mg/m ³	Milligram per cubic meter

ANEXO 5: MAUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

A continuación, se presenta un documento en el cual se mostrarán los componentes del componente físico de “**SISTEMA DE SENSORICA (MASTER/SENSOR) INTELIGENTE MEDIANTE COMUNICACIÓN PROTOCOLO IO-LINK PARA LA INDUSTRIA 4.0**” y un respectivo paso a paso par su uso y por consiguiente obtener los mejores resultados de la practica de laboratorio para la asignatura de Sensorica.

1. Componentes

1.1. Caja Master

- STEVAL-IOM001V1 + NUCLEO-F446RE
- Esta posee un conector el cual permite la alimentación y un interruptor para el encendido y apagado de la tarjeta STEVAL-IOM001V1 la cual por medio del conector M12, podrá surtir la alimentación a los demás componentes, adicionalmente está compuesto por un núcleo, NUCLEO-F446RE en el cual corre un stack intocable (P-NUCLEO-IOM01M1)
- El conector M12, de cuatro pies permite la comunicación entre master y demás dispositivos debido a su configuración L+, C/Q y SIO, L-, siendo alimentación, señal y una tierra común respectivamente.

1.2. Caja Device

- NUCLEO-L073RZ + STEVAL-IOD03V1 + X-NUCLEO-IJS01A2
- La caja posee un núcleo en el cual corre el software editado por el estudiante, la cual se comunica por medio de la capa física con la tarjeta STEVAL-IOD03V1, la cual se comunicara con el master por medio el del conector M12 al master, adicionalmente cuenta con una tarjeta adicional, que se comunica por medio de los puertos de Arduino en la capa física, la cual posee con 5 sensores, temperatura, presión, humedad, giroscopio y acelerómetro con la intención de un uso demostrativo de los sensores.
- El conector M12, de cuatro pies permite la comunicación entre master y demás dispositivos debido a su configuración L+, C/Q y SIO, L-, siendo alimentación, señal y una tierra común respectivamente.

1.3. Cable M12

- Se trata de un cable blindado de 4 hilos, cada uno identificado por un color único: L+ es rojo, C/Q es verde, SIO es negro, y el color blanco, que normalmente correspondería al pin 2, no está conectado. Esto se debe a que la conexión DI se utilizará en el pin SIO, que es de color verde y corresponde al pin 3 del conector.

1.4. Adaptador SIO

- Ya que se puede presentar la situación, en la cual un estudiante no consiga el conector M12 correspondiente, se entrega una caja que funciona como conversor de la señal del sensor análogo, a dicho conector, se necesita que cumpla las características de L+, C/Q y L-, y que por medio de una bornera se pueda hacer la transformación de la señal correspondiente para así volverlo compatible con el sistema.

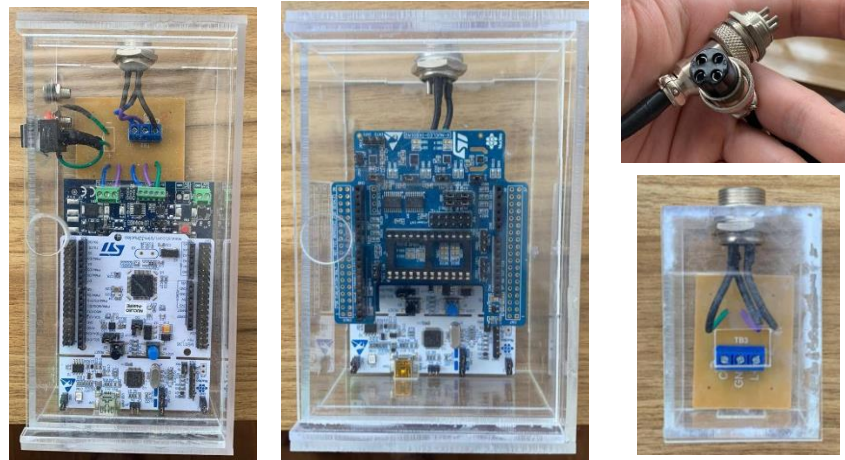


Figura 1. Componentes (Master Device Conector Adaptador)

2. Procedimiento

- 2.1. Conecte la caja del Master con la del Device por medio del conector M12
- 2.2. Por medio del puerto Micro USB de las tarjetas conéctese a un ordenador (Control Tool previamente instalado)
- 2.3. Por medio de las Borneras en el costado lateral, brinde alimentación al sistema (18V+ / 32V)
- 2.4. Abra el programa IO-Link Control Tool
- 2.5. Seleccione el puerto de comunicación, correspondiente al master

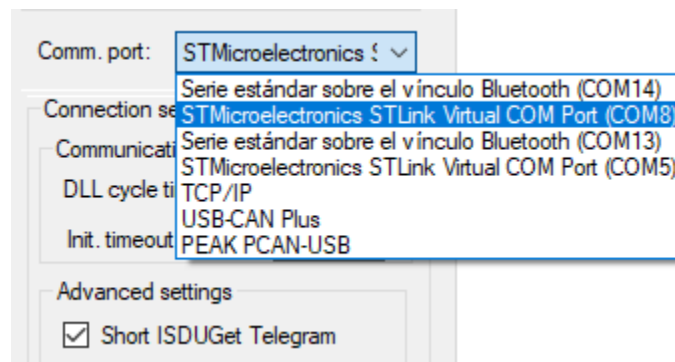


Figura 2. Selección de puerto de comunicación

2.6. Haga Click en el botón verde para conectar la interfaz con el sistema

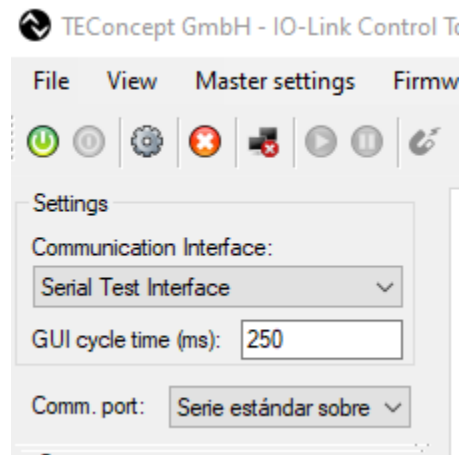


Figura 3. Interfaz Control Tool

2.7. Cambie la posición del interruptor en el costado lateral de O a I asegurándose de la polaridad del sistema de las borneras

2.8. Reinicie las tarjetas, por medio de los botones que se encuentran en la capa física de esta

2.9. En el Port Control proceda a inactivar el puerto, seguido apague el sistema.

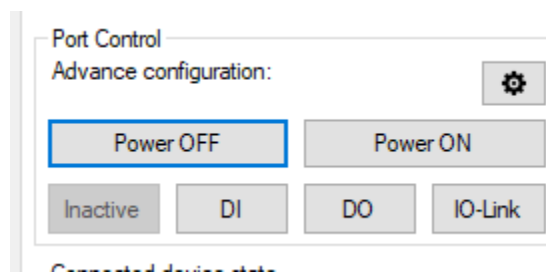


Figura 4. Port Control (Control Tool)

- 2.10. Proceda a seleccionar el dispositivo que desea usar, esto se realiza desde el Device control, en el botón de la parte inferior

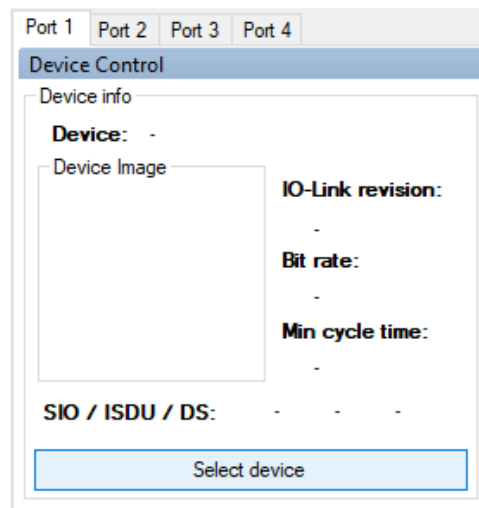


Figura 5. Device Control (Control Tool)

- 2.11. Importe su archivo IODD y selecciónelo de la lista, en la parte inferior derecha de la pantalla emergente

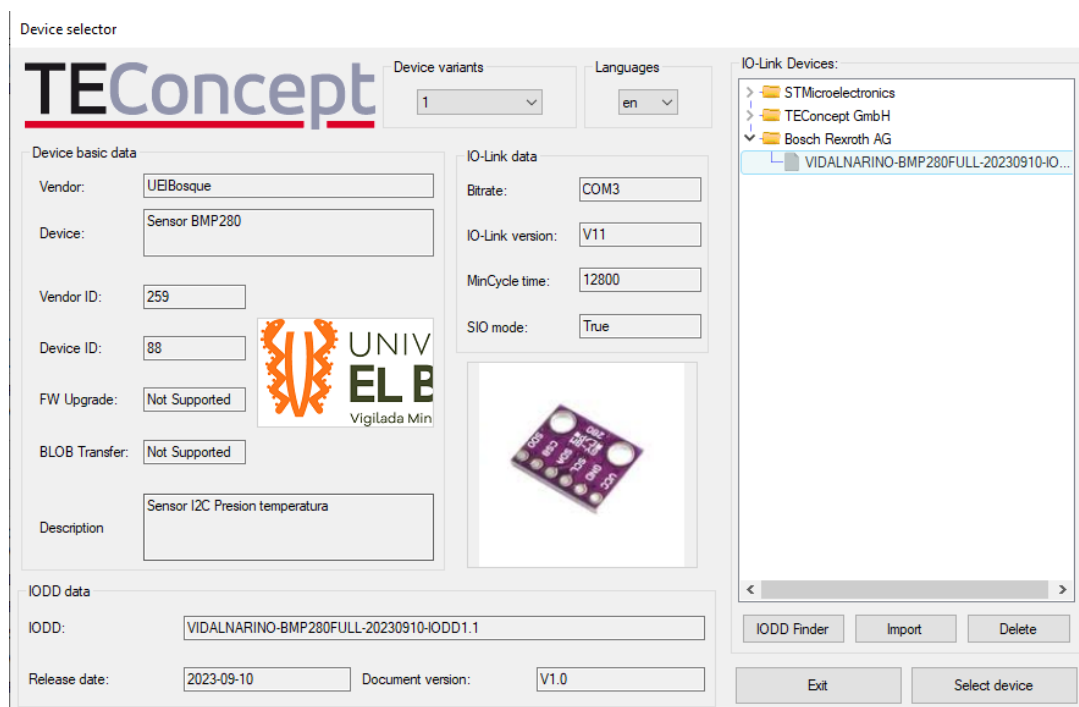


Figura 6. Device Selector (Control Tool)

Esto se visualizará en la parte izquierda de la ventana del IO-Link control tool, de la siguiente manera.

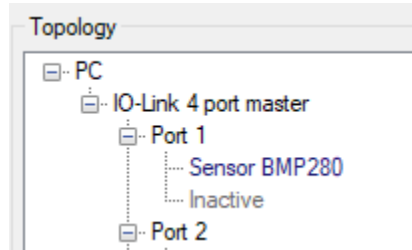


Figura 7. Topology (Control Tool)

- 2.12. En el Port Control se procede a pulsar el botón IO-Link, permitiendo conectividad por medio de este protocolo.

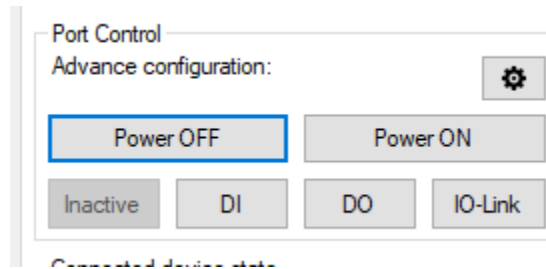


Figura 8. Port Control (Control Tool)

Visualizándose de la siguiente manera:

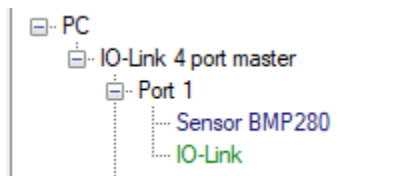


Figura 9. Port Control (conectividad en Topology)

- 2.13. Proceda a pulsar “Power ON” En el Botón del Port Control

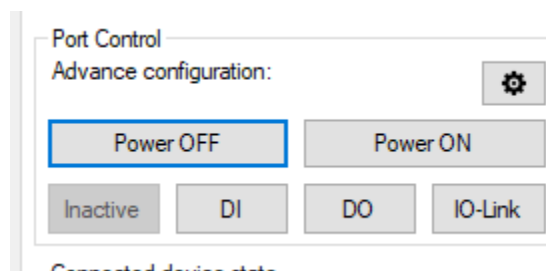


Figura 10. Port Control (Control Tool)

Si la comunicación ha sido efectiva, en el Device info se mostrará el estado del dispositivo como se muestra a continuación

Connected device state	
Vendor ID:	0x0425
Device ID:	0x000001
Product ID:	1
Serial number:	00000000
Vendor name:	STMicroelectronics
Product name:	P-NUCLEO-IOD01A1
Cycle time:	12 800 µs
IO-Link Revision:	V1.1
Port state:	IO-Link
Operate in IO-Link:	Yes
Fault:	NOFAULT

Si no hay conectividad instantánea se recomienda reiniciar nuevamente las tarjetas desde el paso 2.9

Figura 11. Device State (Control Tool)

- 2.14. En el identification menú se hará la manipulación de las variables y sensores que se desean usar, proceda a seleccionar la variable que desea medir (haga doble click en el final de la fila para desplegar el menú)

Parameters						
<div> <input type="text" value="Search in param"/> Menu Fetch DS Read All Read Selected Write Selected </div>						
Name	Index	Subindex	Rights	Type	Unit	Value
Identification Menu						
var Vendor Text	17	0	RO	String		Sensor Test
var Product Name	18	0	RO	String		BMP280
var Variable a Medir	120	0	RW	Unsigned Integer		<div> Temperature (3) </div>
var Serial De Activacion	64	0	RW	Unsigned Integer		<div> Temperature raw (2) </div>
var Application Specific Tag	24	0	RW	String		<div> Temperature (3) </div>

Figura 12. Parameters (Control Tool)

- 2.15. Proceda a seleccionar el sensor (haga doble click en el final de la fila para desplegar el menú)

Name	Index	Subindex	Rights	Type	Unit	Value
Identification Menu						
var Vendor Text	17	0	RO	String		Sensor Test
var Product Name	18	0	RO	String		BMP280
var Variable a Medir	120	0	RW	Unsigned Integer		Temperature (3)
var Senial De Activacion	64	0	RW	Unsigned Integer		Todos los sensores deshabilitados (0)
var Application Specific Tag	24	0	RW	String		Todos los sensores deshabilitados (0)
						Enabled: BMP280 (2)

Figura 13. Selección de sensor (Control Tool)

- 2.16. Seleccione las columnas modificadas y proceda a escribir en la tarjeta las variables y sensores deseados “Write Selected”

Parameters						
<input type="text" value="Search in param"/> <input type="button" value="Menu"/> <input type="button" value="Fetch DS"/> <input type="button" value="Read All"/> <input type="button" value="Read Selected"/> <input type="button" value="Write Selected"/>						
Name	Index	Subindex	Rights	Type	Unit	Value
Identification Menu						
var Vendor Text	17	0	RO	String		Sensor Test
var Product Name	18	0	RO	String		BMP280
var Variable a Medir	120	0	RW	Unsigned Integer		Temperature (3)
var Senial De Activacion	64	0	RW	Unsigned Integer		Todos los sensores deshabilitados (0)
var Application Specific Tag	24	0	RW	String		***

Figura 14. Escritura de selección

Si estas han sido exitosamente enviadas a las tarjetas, estas variables cambiarán su color a Verde, como señal de una escritura correcta, como se muestra a continuación

var	Variable a Medir	120	0	RW	Unsigned Integer	Temperature (3)
var	Senial De Activacion	64	0	RW	Unsigned Integer	Enabled: BMP280 (2)

Figura 15. Comprobación de selección

Teniendo una escritura correcta la variable a medir procederá a leer los valores por medio del sensor deseado, tanto en un valor crudo en valores hexadecimales, como en un valor real desplegando el menú de dicha variable en el espacio designado para el Process Data

Process Data

IO-Link Mode: Process Data Input / Output

PD input: Validity: valid Plot

Name	Value	Formatted Value	Unit
△ Raw data	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 ...	0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 ...	
▼ ⓘ Process Data - TEMPERATURA			
var Temperature	-458	-45.8	°C

Figura 16. Visualización de variables (Control Tool)

2.17. Para Graficar solo basta hacer Click en el botón “Plot” que se encuentra en la esquina superior derecha del Process Data, logrando visualizar en una grafica de Unidad vs Tiempo en tiempo real la medición de esta variable

3. Pruebas SIO

Para hacer pruebas del método de comunicación SIO, basta con solo la conexión directa del sensor la tarjeta master por medio del conector M12.

Ya teniendo esta conexión se proceden hacer los pasos 2.1. a 2.9. y seguir en 3.1

3.1. Proceda a Seleccionar en el Port Control DI, ya que esta variable es de tipo digital.

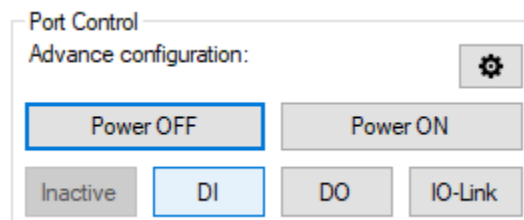


Figura 17. Port Control (Control Tool)

El sensor que desee utilizar por medio SIO, debe ser alimentado de tipo PNP, y capaz de recibir la tensión dada por la salida L+ del sistema

Visualizándose de la siguiente manera en el costado izquierdo de la interfaz IO-Link Control Tool

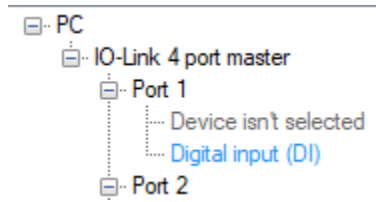


Figura 18. Port Control (conectividad en Topology)

- 3.2. En el Port Control, proceda a encender el sistema
- 3.3. En el Process Data, se evidenciará un cambio de estado al momento que el sensor detecte algún cambio como se presenta a continuación.

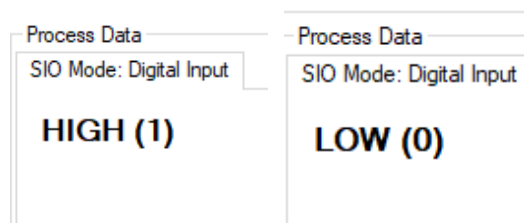


Figura 19. Process Data SIO

4. Adaptador SIO

Este adaptador permite la conversión de un sensor analógico que no tenga el conector compatible con el protocolo IO- Link, M12

- 4.1. Abra las borneras internas del adaptador
- 4.2. Identifique los colores del sensor que desea agregar

- 4.3. Introduzca los cables en su respectiva cavidad

- 4.4. Cierre las borneras

- 4.5. Conecte el cable M12, al adaptador y a la caja Master

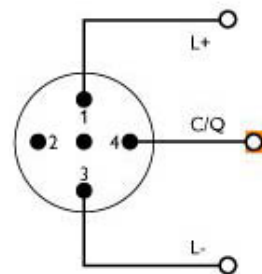
5. Conexión Cable a conector M12

Se sabe que se debe tener un cable de 4 hilos blindado bajo normativa para ser compatible con el protocolo IO- Link a continuación se presenta una pequeña tabla indicando el pin out de las tarjetas y el color que las representa

C/Q= Señal de salida
 (Verde)
 GND/ L-= Tierra Común
 (Morado)
 L+ = Alimentación sensor
 (Azul)

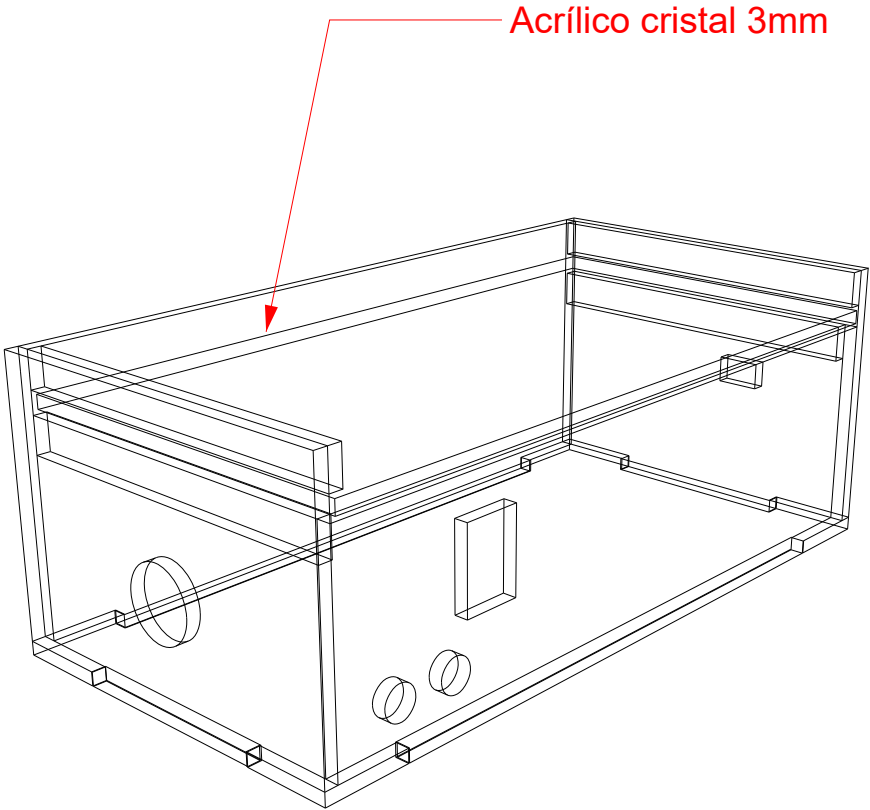
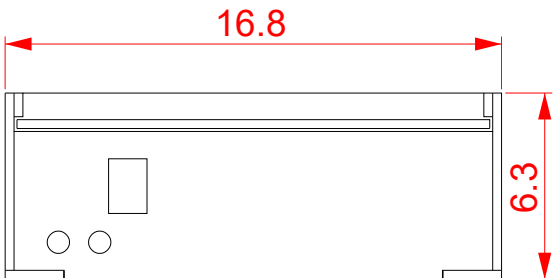
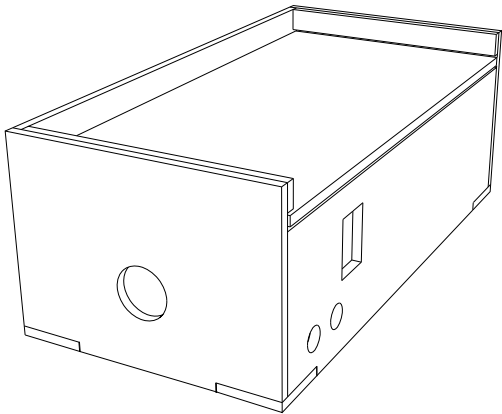
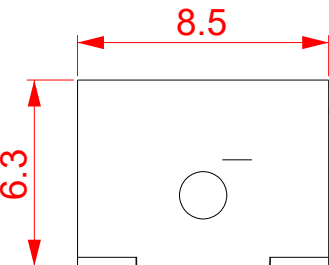
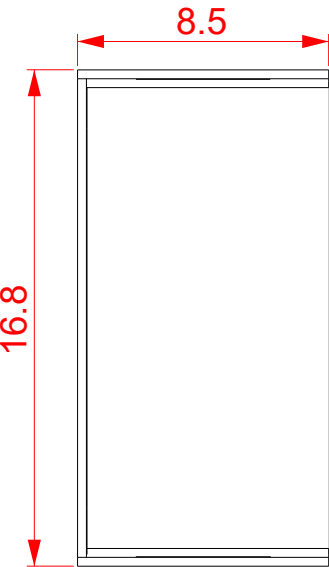
Tabla 1. Código colores M12

Variable	#Pin	Color	Indicador
L+	1	Rojo	Alimentación
OUT	2	Blanco	N/C
L-	3	Negro	Ground
C/Q	4	Verde	Señal

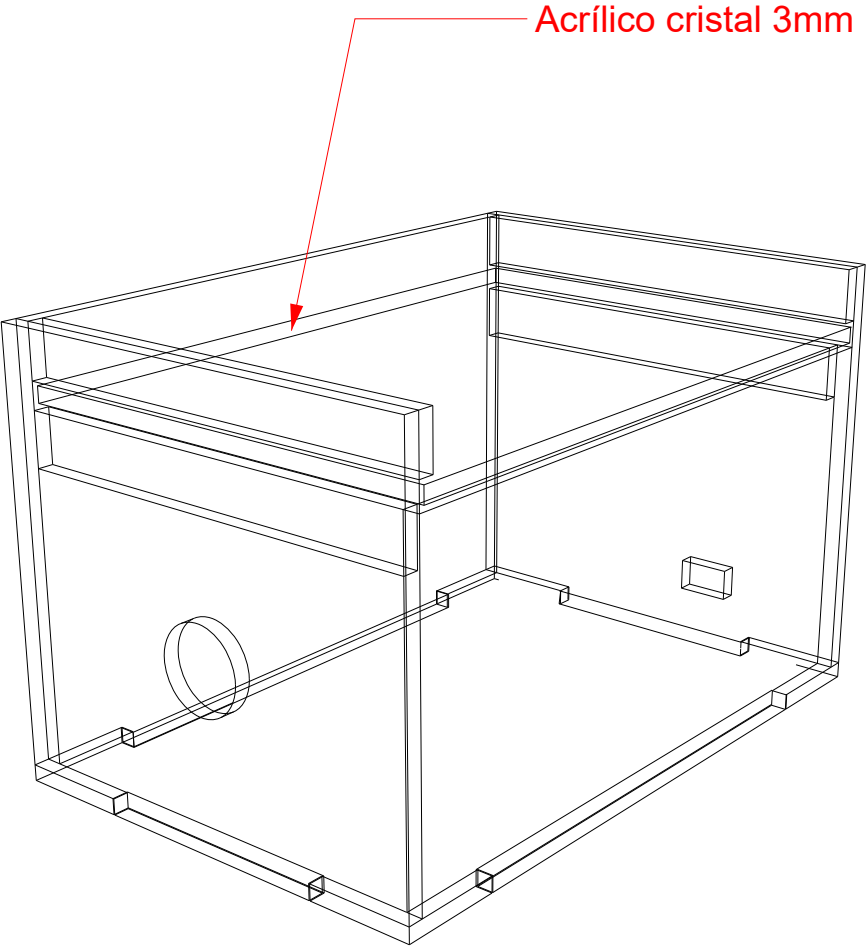
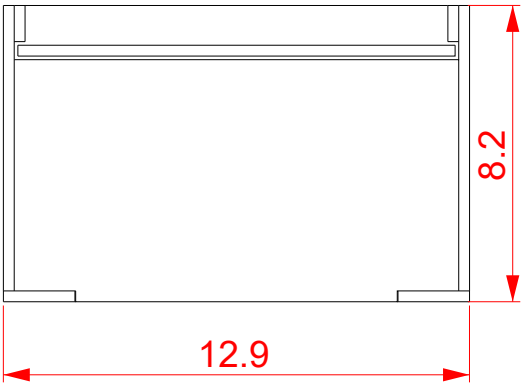
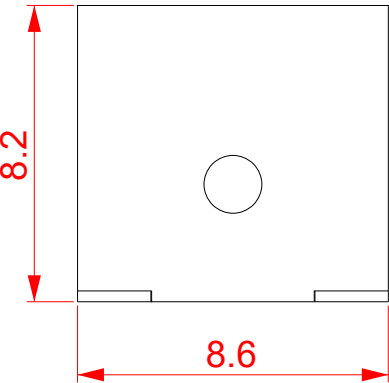
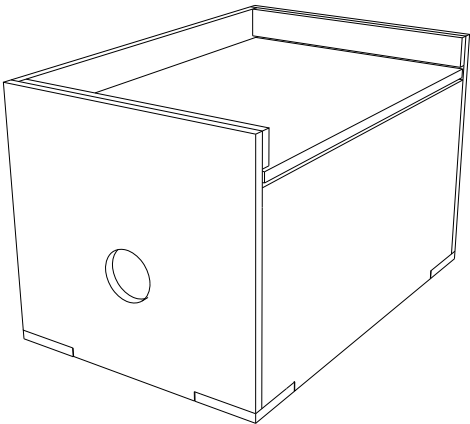
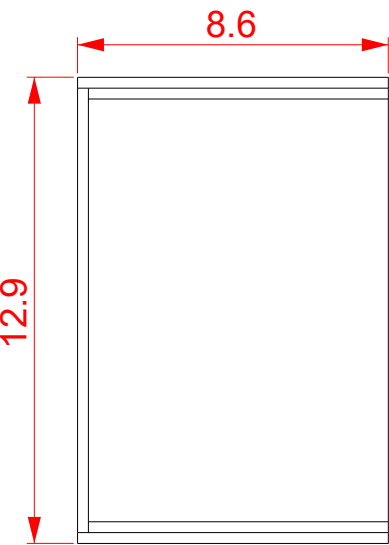


ANEXO 6: PLANO CAJAS

Caja 1 (Master)



Caja 2 (Device)



Caja 3 (Adaptador SIO)

