

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA

ESCUELA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Módulo para comunicación de mediciones y control de actuadores

AUTORES: Bualó, Santiago (Leg. N° 57557)

Martorell, Ariel Antonio (Leg. N° 56209)

Mestanza, Joaquín Matías (Leg. N° 58288)

Regueira, Marcelo Daniel (Leg. N° 58300)

DOCENTES TITULARES: Pingitore, Ricardo Alejandro

Orchessi, Walter

Ugarte, Alejandro

TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

BUENOS AIRES

SEGUNDO CUATRIMESTRE, 2020

Agradecimientos

TBD

Índice

Contenidos

Agradecimientos.....	3
Índice	4
Contenidos	4
Lista de Figuras.....	6
Lista de Tablas	6
Acrónimos y Definiciones	8
Resumen	9
1. Introducción.....	10
1.1. Antecedentes.	10
1.2. Contexto del proyecto.....	10
2. Objetivos.....	11
2.1. Finalidad del Proyecto.....	11
2.2. Planteamiento del Problema a Resolver	11
2.3. Alcance	11
3. Definición de Producto	12
3.1. Requerimientos de Cliente.....	12
3.1.1. Relevamiento de Datos	12
3.1.2. Requerimientos finales para trazabilidad.....	12
3.2. Diagrama Funcional de Interfaces.....	13
3.3. Especificaciones de Diseño.	14
3.3.1. Especificaciones Funcionales.....	14
3.3.2. Especificaciones de Interfaz	15
3.3.3. Especificaciones de Implementación	17
3.3.4. Especificaciones de Servicio (RAMS)	18
4. Plan de Validación.....	20
4.1. Diseño de Bancos de Pruebas	20
4.2. Especificaciones de Tests	22
4.3. Matriz de Trazabilidad de Validación	24
4.4. Plan de Verificación y Validación	25
5. Análisis de Factibilidad.....	26
5.1. Factibilidad tecnológica.....	26
5.1.1. Esquema Modular	26
5.1.2. Implementación de módulo <<Unidad de Control>>.....	26
5.1.2.1. Alternativas de diseño.....	26
5.1.2.2. Elección de una solución	27

5.1.2.3.	Alternativas de diseño.....	27
5.1.2.4.	Elección de una solución	28
5.1.3.	Implementación de módulo <<Alimentación Interna>>	28
5.1.3.1.	Alternativas de diseño.....	28
5.1.3.2.	Elección de una solución	29
5.1.4.	Implementación de módulo <<Interfaz salidas digitales>>	29
5.1.4.1.	Alternativas de diseño.....	29
5.1.4.2.	Elección de una solución	29
5.1.5.	Implementación de módulo <<Interfaz entradas analógicas>>	29
5.1.5.1.	Alternativas de diseño.....	29
5.1.5.2.	Elección de una solución	30
5.1.6.	DFMEA.....	31
5.2.	Factibilidad de tiempos.....	33
5.2.1.	Consideraciones	33
5.2.2.	Planificación (PERT y simulación de Montecarlo)	33
5.2.3.	Programación (Gantt).....	34
5.3.	Factibilidad económica	35
5.3.1.	Modelo de Negocios.....	35
5.3.2.	Gastos e Ingresos.....	35
5.3.3.	Flujo de Fondos	35
5.4.	Factibilidad legal y responsabilidad civil	35
5.4.1.	Seguridad.....	35
5.4.2.	Certificación.....	35
5.4.3.	Normas a considerar	35
6.	Ingeniería de detalle	37
6.1.	Hardware.....	37
6.1.1.	Diagrama de bloques (hardware).....	37
6.1.2.	Descripción detallada de cada bloque.....	37
6.1.3.	Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque	37
6.1.4.	Plan de pruebas de cada modulo	37
6.2.	Software	37
6.2.1.	Diagrama de estados y flujogramas	37
6.2.2.	Análisis de complejidad	37
6.2.3.	Descripción de subrutinas	37
6.2.4.	Listados comentados del código	37
6.2.5.	Plan de prueba de módulos y de depuración de Software	37
7.	Construcción del prototipo	38
7.1.	Definición de los módulos	38

7.2.	Diseño de los circuitos impresos	38
7.3.	Diseño mecánico	38
7.4.	Detalles de construcción y precauciones especiales de montaje	38
7.5.	Bill of Materials (BOM)	38
8.	Validación del prototipo	39
8.1.	Estudios de confiabilidad de hardware y de software	39
8.2.	Resultados	39
8.3.	Evaluación	39
8.3.1.	Evaluación de resultados técnicos.....	39
8.3.2.	Evaluación de la planificación.....	39
8.3.1.	Evaluación de la factibilidad financiera	39
9.	Referencias	40
9.1.	LIBROS	40
9.2.	REVISTAS	40
9.3.	Notas de aplicación	40
9.4.	Fuentes Online	40
10.	Anexos Técnicos	41
10.1.	Esquemáticos	41
10.2.	Planos de PCB.....	41
10.3.	Listado de Partes y Componentes (<i>BOM</i>)	41
10.4.	Códigos de Software	41
10.5.	Hojas de Datos de Componentes	41
10.6.	Hojas de Aplicación, etc.	41
10.7.	Otra Documentación Técnica	41

Lista de Figuras

Figura 3-1: Diagrama Funcional de Interfaces	13
Figura 4-1: Diagrama de dependencias de Validación.....	25
Figura 5-1: Esquema modular.....	26
Figura 5-2: Simulación de Montecarlo – Duración en días	34
Figura 5-3: Simulación de Montecarlo – Fecha de finalización	34
Figura 5-4: Diagrama de Gantt	34
Figura 10-1: Especificaciones de comunicación del calibre	41

Lista de Tablas

Tabla 3.1: Requerimientos.....	12
Tabla 3.2: Leyenda de uso en especificaciones	14

Tabla 3.3: Especificaciones Funcionales	14
Tabla 3.4: Especificaciones de Interfaz S-IN	15
Tabla 3.5: Especificaciones de Interfaz S-OUT	15
Tabla 3.6: Especificaciones de Operación.....	17
Tabla 3.7: Especificaciones de Compatibilidad Electromagnética	18
Tabla 3.8: Especificaciones de costos	18
Tabla 3.9: Especificaciones de Confiabilidad	18
Tabla 3.10: Especificaciones de Disponibilidad	18
Tabla 3.11: Especificaciones de Mantenibilidad	18
Tabla 3.12: Especificaciones de Seguridad	19
Tabla 4.1: Tests de Performance	23
Tabla 5.1: Alternativas de diseño para Unidad de Control.....	27
Tabla 5.2: Alternativas de diseño para Microcontrolador	28
Tabla 5.3: Alternativas de diseño para el módulo de Alimentación Interna	28
Tabla 5.4: Alternativas de diseño para la Interfaz de salidas digitales	29
Tabla 5.5: Alternativas de diseño para Interfaz de entradas analógicas	29
Tabla 5.6: Tareas estipuladas con las duraciones estimadas.....	33
Tabla 5.7: Flujo de Fondos	35

Acrónimos y Definiciones

Acrónimo	Descripción
AC	Corriente Alterna (<i>Alternate Current</i>)
ADC	Conversor de señal analógica a digital (<i>Analog to Digital Converter</i>)
DC	Corriente Continua (<i>Direct Current</i>)
EMC	Compatibilidad Electromagnética (<i>ElectroMagnetic Compatibility</i>)
HW	<i>Hardware</i>
SW	<i>Software</i>
TBD	<i>To Be Determined</i>
TBC	<i>To Be Confirmed</i>
VAC	Volts de corriente alterna (AC)
VDC	Volts de corriente continua (DC)
POE	Alimentación a través de Ethernet (<i>Power Over Ethernet</i>) (ver definiciones)

Término	Definición
Industria 4.0	Comúnmente se la refiere como la cuarta revolución industrial. Describe la creciente tendencia hacia la automatización y el intercambio de datos en tecnología y procesos dentro de la industria manufacturera, que incluye conceptos actuales como IoT (<i>Internet Of Things</i>). Además, realiza simulaciones de planta para evaluar la toma de decisiones óptimas y descentralizadas.
Power Over Ethernet	Es un estándar de la IEEE que permite fusionar señales de potencia con señales de internet de datos. Se verá con mas detalle a lo largo del trabajo.

Resumen

El presente informe de proyecto final de la carrera de Ingeniería Electrónica plantea una problemática puntual de una empresa, y una posible solución con el producto que aquí se presenta: un módulo para comunicación de mediciones y control de actuadores.

Se analizan los requerimientos y especificaciones del producto teniendo en cuenta al cliente en este caso: un fabricante de piezas mecanizadas para autopartistas.

Se evalúan las diferentes posibilidades para el controlador central de este producto, eligiendo al microcontrolador como unidad de control preferida. También se evalúan las posibles implementaciones para los otros módulos que lo componen, teniendo en cuenta normativas de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética (debido a que se trabaja en un ambiente industrial).

1. Introducción

1.1. Antecedentes.

En la fábrica “*Establecimiento Metalúrgico Campiutti S.R.L.*” se realiza la producción de piezas mecanizadas para automóviles. Para validar las dimensiones de dichas piezas, éstas son posicionadas para ser medidas utilizando calibres digitales.

Se dispone de un operario que registra manualmente la medición indicada por el calibre en una aplicación contenida en una Tablet, donde además éste controla que dicha medición esté dentro de las tolerancias admitidas (especificadas en la misma aplicación). Luego, a través de ella envía la medición registrada al servidor de la planta.

Los inconvenientes planteados por el cliente (dueño de la planta, Leandro Campiutti), son los siguientes:

- Demora demasiado tiempo en el largo plazo realizar el registro de las mediciones en forma manual
- Pueden ocurrir errores de tipeo del operario al realizar el registro, enviando la información con errores

1.2. Contexto del proyecto

Actualmente, se tienen ciertas situaciones particulares que condicionan el desarrollo del proyecto, a saber:

- Pandemia de alcance mundial: Se dificulta efectuar reuniones físicas en el corto y mediano plazo. También, debido a ésta, se han impuesto restricciones en lo referente a la importación de componentes del exterior por parte del Gobierno Nacional (esto luego se traducirá en un requerimiento especificado por el propio cliente). Por otra parte, el acceso a los laboratorios para efectuar las mediciones y/o validaciones necesarias.
- Baja en las exportaciones de automóviles
- Caída en la producción de la industria automotriz, reducción en jornada laboral
- Cierre de fábricas autopartistas

Por otra parte, el regreso del cepo cambiario amplió la brecha, permitiendo que aquellos que poseen ahorros en dólares, ganen mayor poder adquisitivo. Como consecuencia, se abarata el costo de algunos autos ensamblados en el país.

2. Objetivos

2.1. Finalidad del Proyecto

La finalidad del proyecto consiste en ofrecer a la empresa “*Establecimiento Metalúrgico Campiutti S.R.L.*” un producto que facilite el proceso de medición de las piezas producidas, así como el registro y la validación de las mediciones tomadas.

A su vez, ofrecer la posibilidad de conectar otros sensores y actuadores adicionales en el futuro, brindando escalabilidad.

2.2. Planteamiento del Problema a Resolver

Este trabajo busca lograr comunicar al operario digitalmente el valor de las mediciones tomadas por los calibres utilizados en forma satisfactoria, evitando que deba registrarlas manualmente (consiguiendo así reducir los tiempos de adquisición de ellas) y ocupándose únicamente de la validación de sus dimensiones.

Para ello, el primero de los focos importantes será poder asegurar la validez de la información recibida. Es decir, que aquellos datos que sean transmitidos por el calibre sean los mismos que reciba el operario en la aplicación de su Tablet de trabajo. Esto contempla esencialmente lograr una correcta comunicación con el calibre (que utiliza un protocolo serie) y con la red local, que está integrada a la tecnología POE (el segundo de los focos importantes de este trabajo, a desarrollar posteriormente).

El tercer foco importante consiste en ofrecer, por un lado, una correcta interfaz para entradas analógicas adicionales con el estándar 4-20mA, para poder conectar en un futuro próximo sensores que se comuniquen con dicho estándar. Y, por otro lado, una correcta interfaz para salidas digitales de 24VDC, para poder conectar en un futuro próximo actuadores que se alimenten con dicho estándar.

2.3. Alcance

El proyecto contempla el desarrollo de un producto con el cual el operario a cargo de realizar las mediciones con los calibres digitales pueda comunicar dichas mediciones tomadas a través de una red local con POE. Además, contará con entradas analógicas (del estándar 4-20mA) y salidas digitales de 24VDC adicionales, contemplando un uso futuro por parte del cliente. El trabajo no contempla la validación de los valores medidos por los calibres. La contrastación periódica de los calibres estará a cargo del cliente.

Las instrucciones para solicitar la lectura de las entradas analógicas adicionales, así como para configurar las salidas digitales, se realizarán también a través de la conexión de red sin intervención del producto por ninguna de estas tareas.

3. Definición de Producto

3.1. Requerimientos de Cliente

3.1.1. Relevamiento de Datos

El relevamiento de datos para la obtención de los requerimientos se realizó mediante conversaciones directas con el dueño de la fábrica. Éste indicó tanto detalles de funcionamiento a tener en cuenta, como del instrumental a utilizar (los calibres digitales).

3.1.2. Requerimientos finales para trazabilidad

ID	Descripción	Origen
REQ-01	El operario deberá recibir el valor de la medición hecha por el calibre en la aplicación para Tablet preexistente. Puede darse que se quiera obtener la medición de más de un calibre.	Cliente
REQ-02	El producto deberá comunicarse y alimentarse mediante POE.	Cliente
REQ-03	El producto deberá comunicarse con los calibres siguiendo el protocolo serie especificado por el fabricante (Mitutoyo)	Cliente
REQ-04	Deberán poder conectarse al producto al menos 4 (cuatro) calibres.	Cliente
REQ-05	Si no hay una pieza presente, el producto deberá igualmente transmitir el valor de medición que le sea comunicado por el calibre.	Cliente Tácito
REQ-06	Si el calibre se encuentra apagado, y se solicita un valor de medición de éste, el producto deberá comunicar que el calibre al que se solicitó un valor de medición se encuentra apagado.	Cliente
REQ-07	Los componentes que se vayan a utilizar para el desarrollo del producto deben conseguirse dentro de la República Argentina, para evitar los actuales inconvenientes de importación.	Cliente Factibilidad Económica
REQ-08	El producto deberá disponer de puertos de entrada analógicos con el estándar 4-20mA para conectar sensores de presión de escala 0 - 200 mBar modelo SS611ED y puertos de salidas digitales de 24VDC, para contemplar una escalabilidad a futuro.	Cliente
REQ-09	El producto deberá cumplir con la norma IRAM de compatibilidad electromagnética, dado que se ubicará en un ambiente industrial.	Norma
REQ-10	El producto deberá cumplir con la norma IEC 60529, respecto al nivel de protección que debe tener el gabinete donde estará contenido, dado que se ubicará en un ambiente industrial. Se indicará con el grado de protección IP.	Norma
REQ-11	El producto deberá contar con una salida USB Tipo A, con el fin de permitir al operario conectar la Tablet para recargar su batería. La conexión será únicamente para alimentación, y no para datos.	Cliente

Tabla 3.1: Requerimientos

3.2. Diagrama Funcional de Interfaces

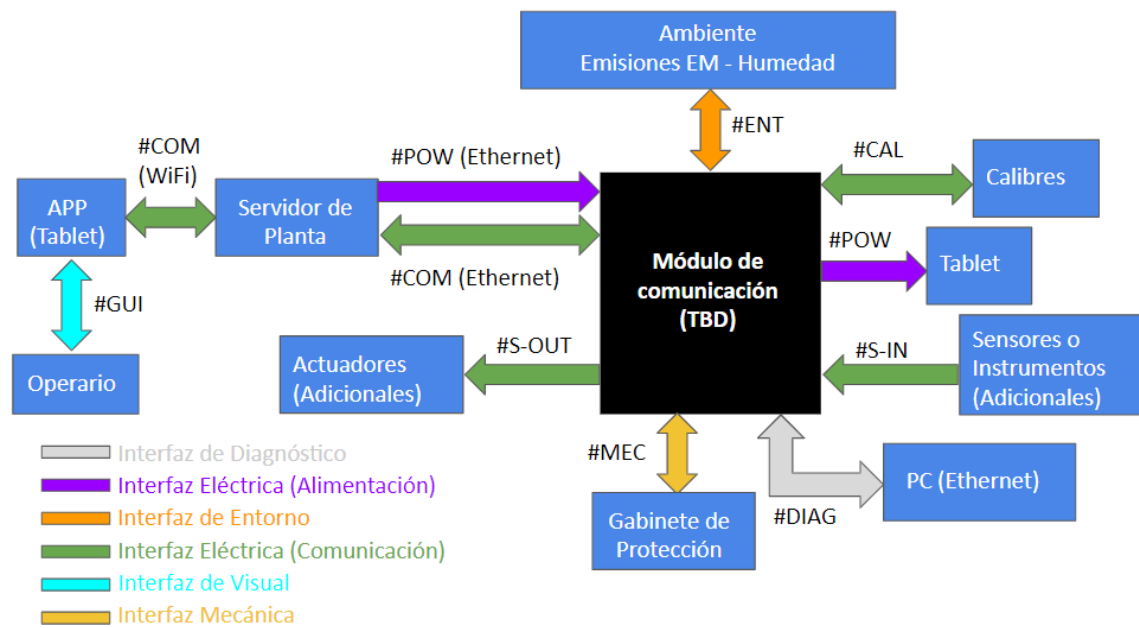


Figura 3-1: Diagrama Funcional de Interfaces

3.3. Especificaciones de Diseño.

3.3.1. Especificaciones Funcionales

Leyenda para Especificaciones	
Aplicabilidad	Validación
P: Prototipo	I: Inspección Visual
	D: Documentación de Diseño
F: Producto Final	S: Simulación
	T: Test

Tabla 3.2: Leyenda de uso en especificaciones

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
FUN-POW-01	<p>Alimentación desde POE según estándar 802.3af:</p> <p>Consumo de potencia no mayor a 15W - 400mA (limitado por los cables, según el estándar básico)</p> <p>El producto debe utilizar cables 8PC8-RJ45 de 8 pines Modo B, categoría 3. (100BASE-TX) con un largo no mayor a 100 metros.</p> <p>El producto debe enviar por el cableado la alimentación y los datos por pines separados, utilizando los pares de repuesto.</p> <p>El rango de tensión que recibe el equipo debe estar entre 37V y 57V.</p> <p>La impedancia de entrada del equipo debe ser de entre 19KΩ y 26.5 kΩ.</p> <p>El dispositivo debe respetar la secuencia de arranque de POE contemplada en la norma 802.3af.</p>	REQ-02	P, F I, D, T
FUN-POW-02	<p>El producto deberá contar con un conector USB Tipo A (5V – TBD mA), que permita al operario conectar su Tablet para recargar la batería si así lo requiere. Esta conexión será únicamente para alimentación, y no para datos.</p>	REQ-11	P, F D, T

Tabla 3.3: Especificaciones Funcionales

3.3.2. Especificaciones de Interfaz

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-S-IN-01	<p>El producto deberá disponer de 4 entradas analógicas adicionales que trabajen con el estándar 4-20mA.</p> <ul style="list-style-type: none"> Mayor seguridad (menor a 30 mA) Mayor inmunidad al ruido eléctrico e interferencias electromagnéticas Facilidad en detección de fallas 	REQ-08	<p>P, F</p> <p>I, D, T</p>

Tabla 3.4: Especificaciones de Interfaz S-IN

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-S-OUT-01	<p>El producto deberá disponer de 4 salidas digitales de tipo 24VDC SINK.</p> <ul style="list-style-type: none"> Máximo 1A de corriente para cada salida Rango de tensión de alimentación entre 20.4 V a 26.4 V 	REQ-08	<p>P, F</p> <p>I, D, T</p>

Tabla 3.5: Especificaciones de Interfaz S-OUT

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación																		
INT-CAL-01	<p>El producto deberá comunicarse con los calibres siguiendo el protocolo serie especificado por el fabricante (Mitutoyo)</p> <p>La frecuencia de reloj para la sincronización posee un valor típico de 4.096KHz.</p> <p>Se adjuntan más detalles en la <i>sección 10.5, Figura 10-1</i>.</p>	REQ-03	P, F D, T																		
INT-CAL-02	<p>El producto deberá disponer de al menos 4 (cuatro) conjuntos de puertos de conexión, según indica la documentación del fabricante de los calibres:</p> <table><tr><th>Pin Nro.</th><th>Señal</th><th>I/O</th></tr><tr><td>1</td><td>GND</td><td>-</td></tr><tr><td>2</td><td>DATA</td><td>O</td></tr><tr><td>3</td><td>CK</td><td>O</td></tr><tr><td>4</td><td>N.C.</td><td>-</td></tr><tr><td>5</td><td>/REQ</td><td>I</td></tr></table> <p>De manera tal de poder conectar al menos 4 (cuatro) calibres.</p>	Pin Nro.	Señal	I/O	1	GND	-	2	DATA	O	3	CK	O	4	N.C.	-	5	/REQ	I	REQ-04	
Pin Nro.	Señal	I/O																			
1	GND	-																			
2	DATA	O																			
3	CK	O																			
4	N.C.	-																			
5	/REQ	I																			

Tabla 3-6: Especificaciones de Interfaz CAL

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-COM-01	El producto se comunicará con el servidor a través de una conexión a red local por Ethernet, mediante protocolo TCP-IP.	REQ-01, REQ-02, REQ-05, REQ-06	P, F D, T
INT-COM-02	La impedancia máxima proporcionada por los cables será de 20Ω.	REQ-02	P, F D, T
INT-COM-03	Debe poder recibir del servidor instrucciones para enviar mediciones de las entradas analógicas y configurar las salidas digitales a través del cable de Ethernet.	REQ-02	P, F D, T
INT-COM-04	Si un calibre está apagado y se solicita una medición de dicho calibre, deberá contemplar un TimeOut de 5 segundos y comunicar al servidor que el calibre está apagado.	REQ-06	P, F D, T
INT-COM-05	Si no hay una pieza presente, se transmitirá de todas maneras valor de medición nulo.	REQ-05	P, F D, T

Tabla 3-7: Especificaciones de Interfaz COM

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación						
INT-MEC-01	El equipo deberá tener un grado de protección IP53 , que corresponde a:	REQ-10	P, F I, T						
	Nivel de protección contra elementos sólidos:								
	<table><tr><th>Nivel</th><th>Tamaño objeto entrante</th><th>Efectividad</th></tr><tr><td>5</td><td>Protección contra polvo</td><td>La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipo</td></tr></table>			Nivel	Tamaño objeto entrante	Efectividad	5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipo
	Nivel			Tamaño objeto entrante	Efectividad				
	5			Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipo				
	Nivel de protección contra elementos líquidos:								
<table><tr><th>Nivel</th><th>Protección frente a</th><th>Método de prueba</th><th>Resultados</th></tr><tr><td>3</td><td>Agua nebulizada (spray)</td><td>Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual</td><td>No debe entrar el agua nebulizada hasta en un ángulo de 60° a derecha e izquierda de la vertical, a un promedio de 11 litros por minuto, y a una presión de 80-100 kN/m² durante un tiempo no menor a 5 minutos</td></tr></table>	Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados	3	Agua nebulizada (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual	No debe entrar el agua nebulizada hasta en un ángulo de 60° a derecha e izquierda de la vertical, a un promedio de 11 litros por minuto, y a una presión de 80-100 kN/m ² durante un tiempo no menor a 5 minutos	
Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados						
3	Agua nebulizada (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual	No debe entrar el agua nebulizada hasta en un ángulo de 60° a derecha e izquierda de la vertical, a un promedio de 11 litros por minuto, y a una presión de 80-100 kN/m ² durante un tiempo no menor a 5 minutos						
De acuerdo con la norma IEC 60529.									

Tabla 3-8: Especificaciones de Interfaz MEC

3.3.3. Especificaciones de Implementación

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-OPE-01	<p>El dispositivo deberá poder operar normalmente cuando la temperatura ambiente sea:</p> <p>$0^{\circ}\text{C} < T_{\text{AMB}} < 40^{\circ}\text{C}$ (TBC)</p>	(Entorno Industrial)	F D, T

Tabla 3.6: Especificaciones de Operación

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-EMC-01	<p>El dispositivo deberá operar normalmente con inmunidad al ruido electromagnético de acuerdo con la norma IRAM 2491:</p> <p>CEM = EMI + SEM. (Emisiones electromagnéticas y Susceptibilidad Electromagnética)</p> <p>Norma IRAM 2491-1-1: Definición de la terminología básica relacionada a CEM.</p> <p>Norma IRAM 2491-4-1 y 2491-4-2: Técnicas de medición y ensayo para garantizar los valores deseados de EMI y de descargas eléctricas.</p> <p>Norma IRAM 2491-4-14: Norma para garantizar inmunidad electromagnética al equipo SEM.</p>	REQ-09	F T

Tabla 3.7: Especificaciones de Compatibilidad Electromagnética

D	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-COS-01	Los componentes que se vayan a utilizar para el desarrollo del producto deben conseguirse dentro de la República Argentina, para evitar los actuales inconvenientes de importación.	REQ-07	F D

Tabla 3.8: Especificaciones de costos

3.3.4. Especificaciones de Servicio (RAMS)

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-CON-01	TBD	TBC	TBD

Tabla 3.9: Especificaciones de Confiabilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-DIS-01	TBD	TBC	TBD

Tabla 3.10: Especificaciones de Disponibilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-MAN-01	TBD	TBC	P, F T

Tabla 3.11: Especificaciones de Mantenibilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-SEG-01	La máxima temperatura que podrá tener la carcasa será de TBD	TBC	P, F D, S, T

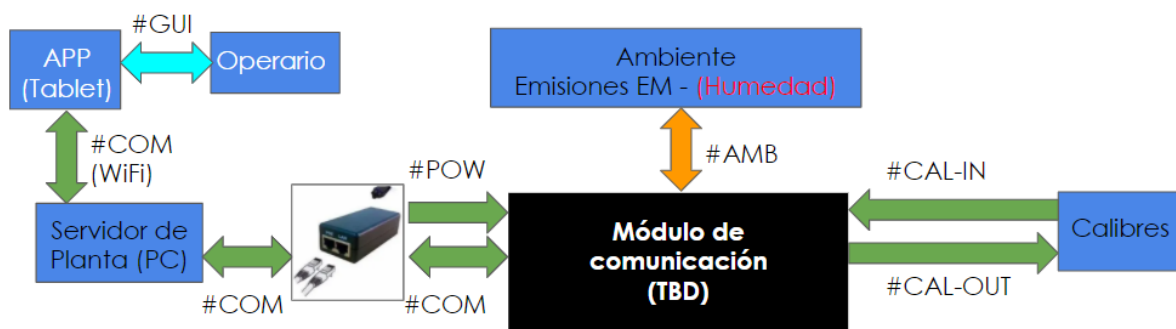
Tabla 3.12: Especificaciones de Seguridad

4. Plan de Validación

4.1. Diseño de Bancos de Pruebas

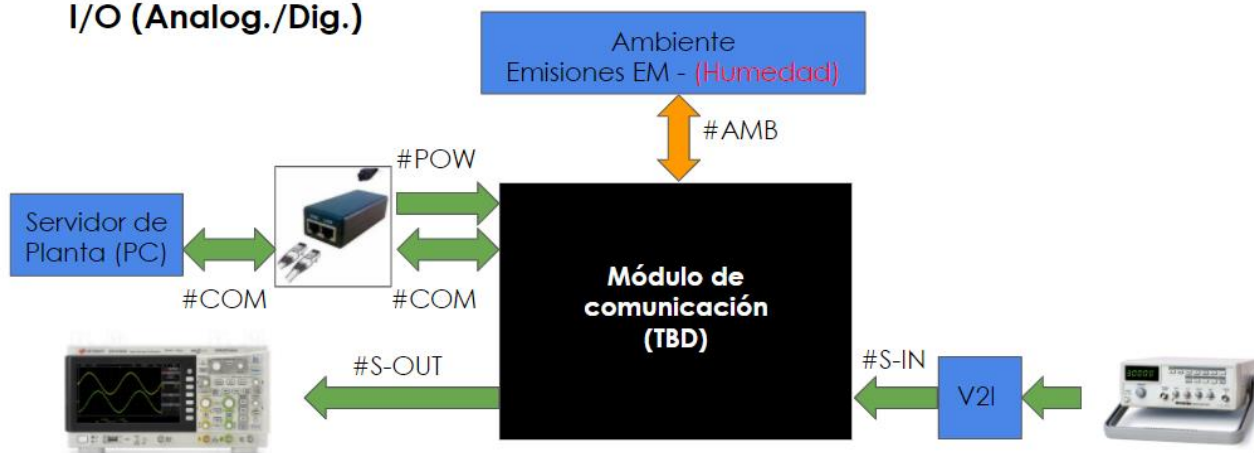
Para realizar el diseño de banco de pruebas, se tuvieron en cuenta dos grandes partes del proyecto. En primer lugar, la de sistema de comunicación con el servidor y el calibre, y en segundo, la comunicación con el servidor y las entradas analógicas y salidas digitales. Por último, se contempló un banco de pruebas para ensayos de compatibilidad electromagnética en el producto final.

❖ Banco de pruebas de comunicación con calibres



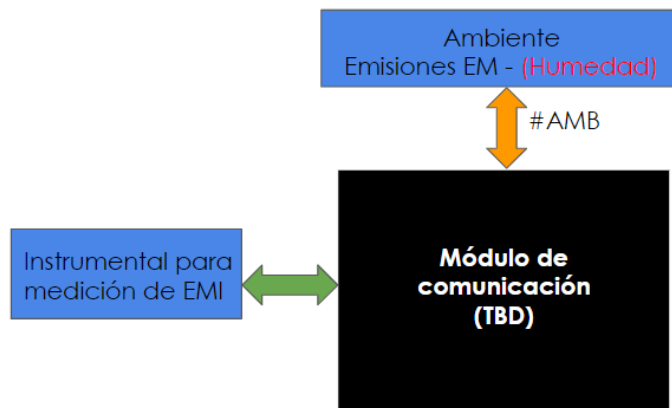
Banco de Pruebas 1

❖ Banco de pruebas de I/O (Analog./Dig.)



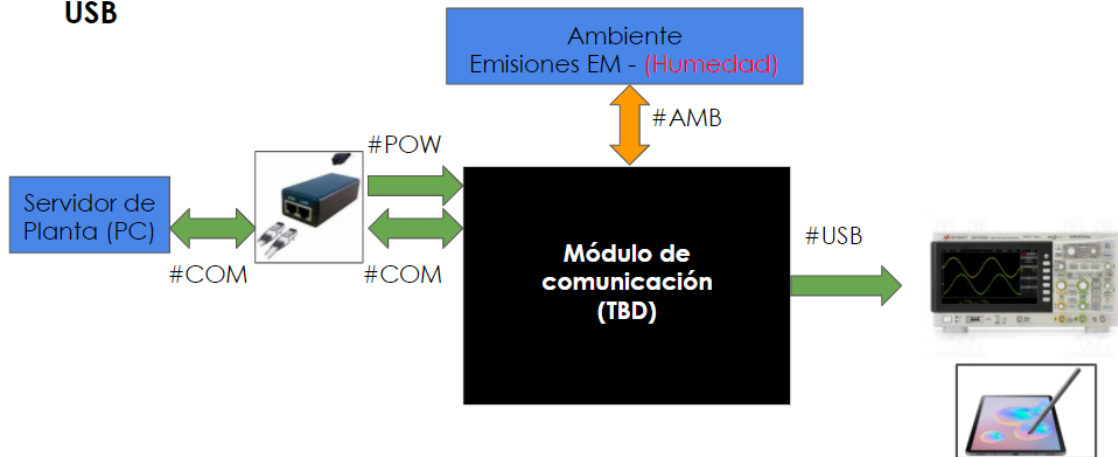
Banco de Pruebas 2

❖ **Banco de pruebas de EMI**



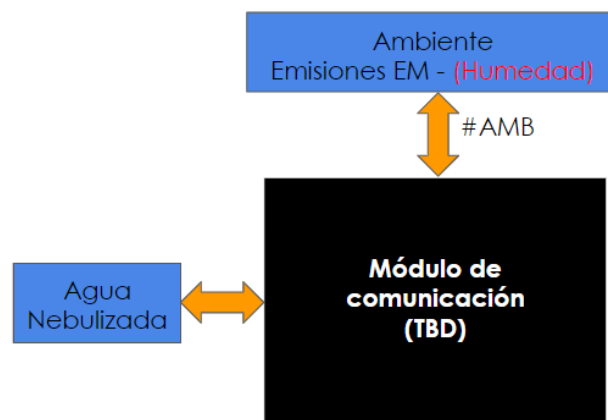
Banco de Pruebas 3

❖ **Banco de pruebas de USB**



Banco de Pruebas 4

❖ **Banco de pruebas de Norma IP**



Banco de Pruebas 5

4.2. Especificaciones de Tests

ID Aplicabilidad	Procedimiento	Criterio
<p>Procedimiento General: para todas estas pruebas, se deberá conectar el DUT al banco de pruebas #1. Verifique que ambas puntas del osciloscopio estén correctamente conectadas, y que cada una de ellas tenga la referencia conectado al pin de tierra inmediatamente al lado del que se intenta medir. El osciloscopio deberá estar ajustado para mostrar en pantalla un período no mayor a 5ms, dado que la trama es de 13 datos y la señal de CLK es de 4096Hz. Deberá tener también acoplado AC para evitar ver señales de tensión continua. La amplitud que se pueda ver en pantalla deberá ser no mayor a 5VDC (TBC). El trigger deberá estar puesto en automático y el nivel del trigger en 2.5VDC (TBC). El display deberá estar puesto en estado normal (es decir, sin persistencia). Las puntas deberán estar en impedancia de entrada x10, con el ajuste acorde en el osciloscopio. Escala de 1V/div. Salvo que el test así lo indique, no deberá haber ningún tipo de filtro salvo aquellos ya mencionados.</p>		
T-PERF01 Proto, Final	<ol style="list-style-type: none"> Se procede a utilizar el banco de pruebas #1. Verificar que la PC, la alimentación, el calibre y el DUT estén encendidos y correctamente conectados. Verificar que cuando se pide a través del servidor (en este caso, emulado por la PC) al DUT que el calibre transmita una medición, la misma llegue al DUT. En este caso si después de la solicitud, no hay respuesta luego de transcurridos 5 segundos es porque el calibre está apagado. Frente a medidas patrón (TBD) verificar que lo que se mide con el calibre y aparece en la pantalla de este es igual a lo que recibe el DUT, y que aparecerá en la aplicación de la Tablet. 	Correspondencia entre valores: de señal de datos de calibre y lo que se recibe en el módulo
T-PERF02 Proto, Final	<ol style="list-style-type: none"> Se procede a utilizar banco de pruebas #2 Se asume que la alimentación y la comunicación con el módulo a través de POE, ya se encuentra validado en el test T-PERF01, así como la correcta conexión de la PC. Por medio del servidor proveer una configuración a la parte de entradas analógicas. Luego se realiza la inyección a la entrada analógica por medio de un generador de señales y con la disposición de un convertidor de tensión a corriente de forma tal de tener como entrada: en un caso el mínimo nivel de corriente (4mA), y en otro caso el nivel máximo (20mA). Para verificar que se lee correctamente en cada entrada hay que ver que se corresponda lo que está en la entrada y lo que se envió al servidor con un cierto criterio de tolerancia sugerido por CPI S.A. 	<p>En mínimo: (4+/-0.2) mA</p> <p>En máximo: (20+/-0.5) mA</p>
T-PERF03 Proto, Final	<ol style="list-style-type: none"> Se procede a utilizar banco de pruebas #2 Se asume que la alimentación y la comunicación con el módulo a través de POE, ya se encuentra validado en el test T-PERF01, así como la correcta conexión de la PC y demás. Cambiar la escala de medición vertical a 5V/div. Efectuar medición con osciloscopio en cada una de las salidas digitales con la siguiente configuración establecida por el servidor: una de las salidas activa y el resto apagadas, y ver que se corresponda el estado de la salida con lo que se mide en el osciloscopio. Repetir el paso anterior, pero con todas las salidas activas. 	<p>Tensión con salida activa: (0 – TBD) V</p> <p>Tensión con salida apagada: (20.4 - 26.4) V</p>
T-PERF04 Final	<ol style="list-style-type: none"> Procedimiento a definir para medición de EMI (TBD) con el banco de pruebas #3. 	TBC

T-PERF05 Proto, Final	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se procede a utilizar el banco de pruebas #4. Conectar la bornera auxiliar de salida de alimentación USB al osciloscopio, y verificar que se mide una tensión continua de 5V 2. Conectar luego, mediante un cable USB Tipo A la salida a la Tablet del operario. 3. Verificar que se visualiza en ella que la batería se está cargando. 	Tensión de salida: (4.5 – 5.5) V Inspección visual en la Tablet de estado de batería cargando
T-PERF06 Final	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se procede a utilizar el banco de pruebas #5. Con el equipo conectado y en funcionamiento, rociar con agua nebulizada según indica el procedimiento de la norma IEC 60529. 	No se ve afectado el funcionamiento general, según norma IEC 60529

Tabla 4.1: Tests de Performance

4.3. Matriz de Trazabilidad de Validación

Origen	REQ ID <i>Descripción corta</i>	ESP ID	TEST ID o Sección
Cliente	REQ-01 Poder ver la medición en Tablet	INT-COM-01	T-PERF01
Cliente	REQ-02 Alimentación del módulo mediante POE	FUN-POW-01 INT-COM-01 INT-COM-02 INT-COM-03	T-PERF01
Cliente	REQ-03 El módulo usa protocolo de comunicación de calibres Mitutoyo	INT-CAL-01	T-PERF01
Cliente	REQ-04 Conectar 4 calibres	INT-CAL-02	T-PERF01
Cliente Tácito	REQ-05 Pieza no presente, transmitir valor nulo de medición	INT-COM-01 INT-COM-05	T-PERF01
Cliente	REQ-06 Si un calibre está apagado, que el módulo lo comunique	INT-COM-01 INT-COM-04	T-PERF01
Cliente Factibilidad Económica	REQ-07 Utilizar componentes en Argentina	IMP-COS-01	No aplica
Cliente	REQ-08 Entradas analógicas con protocolo 4-20mA, salidas digitales de 24VDC	INT-S-IN-01 INT-S-OUT-01	T-PERF01 T-PERF02 T-PERF03
Norma	REQ-09 El producto deberá cumplir con la norma IRAM 2491-1-1, 2491-4-1, 2491-4-2, y 2941-4-14 de compatibilidad electromagnética.	IMP-EMC-01	T-PERF04
Norma	REQ-10 Cumplir norma IEC 60529, respecto del nivel de protección que debe tener el gabinete. Grado de protección IP.	INT-MEC-01	T-PERF06
Cliente	REQ-11 Salida USB Tipo A, con el fin de cargar batería de Tablet.	FUN-POW-02	T-PERF05

4.4. Plan de Verificación y Validación

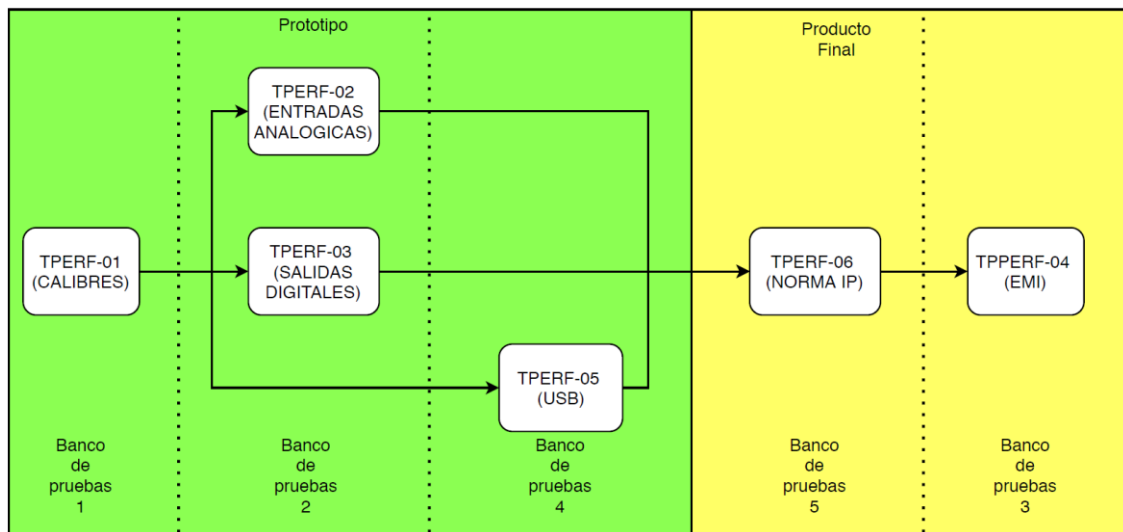


Figura 4-1: Diagrama de dependencias de Validación

5. Análisis de Factibilidad

5.1. Factibilidad tecnológica

5.1.1. Esquema Modular

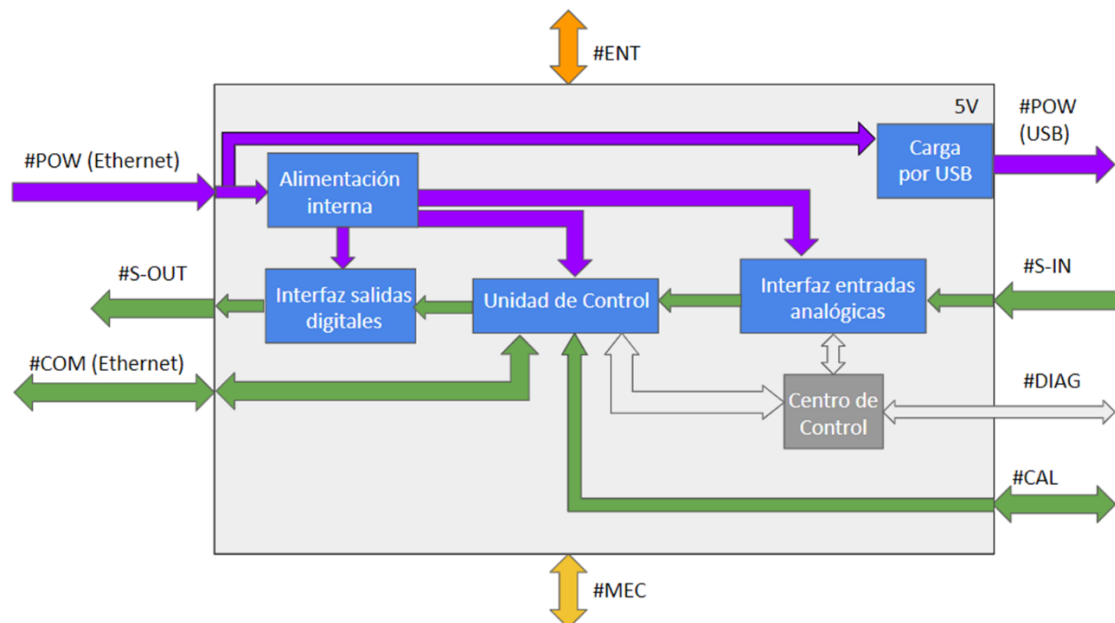


Figura 5-1: Esquema modular

Se presenta ahora una breve descripción de los módulos, para luego poder realizar el planteo de las alternativas de diseño.

- **Unidad de Control:** funciona como interfaz entre la información provista por los calibres y las entradas analógicas, con el servidor. A través de la conexión por Ethernet comunicará debidamente la información proveniente de estos módulos, como así recibirá instrucciones de configuración para las salidas digitales.
- **Interfaz entradas analógicas:** contiene el hardware necesario para convertir la información por corriente de las entradas analógicas a un formato de tensión adecuado para ser interpretado por la unidad de control cuando le sea requerido.
- **Interfaz salidas digitales:** permite activar o desactivar las salidas digitales de acuerdo con la configuración proveniente de la unidad de control (que a su vez proviene del servidor externo).
- **Alimentación interna:** contiene el hardware necesario para adaptar la alimentación proveniente de la conexión por POE a las diversas alimentaciones requeridas por el equipo.
- **Carga por USB:** posee el hardware requerido para proveer mediante el puerto USB externo una alimentación estable para cargar la Tablet del operario.
- **Centro de control:** unidad de hardware adicional para la realización de pruebas de validación.

5.1.2. Implementación de módulo <<Unidad de Control>>

5.1.2.1. Alternativas de diseño

Como se trata de un problema de ingeniería, hay muchas soluciones posibles, por lo cual se optó por utilizar un método tabular para poder realizar un análisis cualitativo distintas soluciones exploradas y de esa forma determinar la óptima. Es importante tener en cuenta que la tabla fue armada teniendo en cuenta que las distintas unidades de control puedan aproximadamente solucionar nuestro problema con el cuidado de no sobredimensionar demasiado en cuanto a las prestaciones que posee cada una.

En base a estas consideraciones, se confeccionó la siguiente tabla comparativa.

	Factores a tener en cuenta			
Opciones	Tiene periféricos internos	Curva de aprendizaje (Ascenso)	Apto ambiente industrial	Costo (~)
Microcontrolador	Si	Lento	Si	US\$ 10
Microprocesador	Si**	Lento	Si	US\$ 10
FPGA	No*	Muy Lento	Si***	US\$ 20
Arduino	Si	Rápido	No	US\$ 10
RaspberryPi	Si	Medio	No	US\$ 35

Tabla 5.1: Alternativas de diseño para Unidad de Control

*: Pueden integrarse.

**: Pocos o más básicos

***: Varía según el caso

5.1.2.2. Elección de una solución

En primer lugar, se tuvo en cuenta la curva de aprendizaje de cada unidad de control. Dentro de ese conjunto de curvas, la que más se destaca es la de las FPGA, la cual es muy lenta. Esto no es un dato menor ya que eso en conjunto con la poca experiencia que nuestro grupo de trabajo, se prevé que va a provocar un aumento significativo en el tiempo de realización del proyecto.

Luego, se consideró que tanto las Arduino y RaspberryPi no presentaban la robustez necesaria para poder funcionar correctamente en un ambiente industrial.

Por último, sólo queda realizar un análisis dentro de las dos posibles opciones restantes de la tabla, microcontrolador y microprocesador. Por un lado, desde el punto de vista de costo estimado, la curva de aprendizaje y su aptitud para el ambiente industrial, las dos soluciones parecen ser igualmente viables en comparación a las anteriores. Pero, por otro lado, un factor determinante para tener en cuenta es la cantidad de periféricos que posee la unidad de control.

En este sentido, el microcontrolador ofrece una mejor prestación que el microprocesador, y es por esta razón que fue elegido solución de preferencia para este proyecto.

5.1.2.3. Alternativas de diseño

Teniendo definida la Unidad de Control, se pasa ahora al análisis particular de posibles alternativas de Microcontrolador. Se tiene en cuenta, por un lado, la disponibilidad de un periférico de Ethernet interno, dado que esto condiciona el número de pines a disponer. Por otro lado, se contempla el número de entradas analógicas disponibles, porque esto influirá en las alternativas de diseño para la interfaz de las entradas analógicas externas del equipo. Finalmente, se incluye la memoria FLASH disponible para el programa: este factor es también crítico debido a que se desconoce cuánto espacio ocupará en dicha memoria.

Con estas consideraciones, se armó la siguiente tabla comparativa.

Opciones	Factores a tener en cuenta						
	Ethernet (HW)	Arquitectura (HW) bits	Memoria Flash	N° de Pines	Entradas analógicas	Disponible en Argentina	Costo
STM32F407	Si	32 bits	1MB	100	3*	Si	USD\$ 11.86
MK64FN1M0VLL12	Si	32 bits	1MB	100	2*	Si	USD\$ 14.37
ATMega 328P + Periférico	Si	8 bits	32KB	32	8	Si	USD\$ 2.18 + Periférico
ATMega 640 + Periférico	Si	8 bits	64KB	100	16	Si	USD\$ 8.49 + Periférico

Tabla 5.2: Alternativas de diseño para Microcontrolador

*: Al tener menos de 4 entradas analógicas disponibles nativamente, condiciona luego la elección de alternativas para el módulo de *Interfaz de entradas analógicas*.

Se describen ahora las consideraciones sobre cada opción relevantes para el proyecto. (*mismo de antes, breve*)

- **STM32F407:**
- **MK64FN1M0VLL12:**
- **ATMega 328P + Periférico:**
- **ATMega 640 + Periférico:**

5.1.2.4. Elección de una solución

En base a lo descripto previamente, considerando su versatilidad, se optó por utilizar el microcontrolador **STM32F407**.

5.1.3. Implementación de módulo <<Alimentación Interna>>

5.1.3.1. Alternativas de diseño

Para el planteo de alternativas para el módulo de alimentación interna, se consideran las dos ramas existentes (lineal y conmutada o switching). Los aspectos de interés a comparar son las EMI (dado que se trabajará en un ambiente industrial) y la PSRR (principalmente debido a que la tensión proveniente del POE puede tener un rango de variación amplio, entre 37V y 57V).

Con dichas consideraciones, se construye la siguiente tabla.

Opciones	Factores a tener en cuenta			
	Rendimiento	EMI	PSRR	Costo
Reguladores Lineales	< 50%	Bajas	Bajas	Bajo
Reguladores Switching	~ 95%	Altas*	Altas**	Alto*
Lineal + Switching***	***	Altas	Bajas	***

Tabla 5.3: Alternativas de diseño para el módulo de Alimentación Interna

Se describe a continuación los aspectos a destacar en cada opción planteada para el módulo.

- **Reguladores Lineales:** en este caso, dado que el control es analógico, no se tiene un buen rendimiento, y para la exigencia de corrientes más altas por breves períodos de tiempo la capacidad de rechazo PSRR no es muy buena. Pero como ventajas, el costo en horas hombre para su diseño es menor (dado que es menos compleja la circuitería) y su costo monetario también es más bajo. Por otra parte, al ser un control de tipo analógico, las EMI son bajas.
- **Reguladores Switching:** poseen un buen rendimiento y la capacidad de rechazo PSRR es mucho mejor, lo que resulta más conveniente para el caso de la alimentación que se destine a la Unidad de Control, y para

la fuente de carga por USB. En contraparte, al ser circuitos que conmutan a altas frecuencias, las EMI son más elevadas y el diseño puede resultar más complejo y caro.

5.1.3.2. Elección de una solución

Dado que los módulos tienen cada uno diferentes requisitos en cuanto a potencia y estabilidad de tensión, se optó por considerar **una combinación de ambos tipos** de fuente para cada caso, según sea ese requerimiento. De esta forma, en los casos que se pueda optar por un diseño más simple y económico se recurrirá al primer tipo, y en los otros casos al segundo.

5.1.4. Implementación de módulo <<Interfaz salidas digitales>>

5.1.4.1. Alternativas de diseño

Para el planteo de las alternativas de diseño, se consideran como factores base la tensión de trabajo (dado que las salidas están especificadas por tensión) y la corriente de trabajo (en función del tipo de actuador a conectar).

En base a esto, se analizaron dos opciones de base, presentadas en la siguiente tabla.

Opciones	Factores a tener en cuenta			
	V de trabajo	I de trabajo	Aislación	Costo
Optoacoplador + Relé Contacto	30 VDC	3A	Si	US\$ 1.06
Relé Estado Sólido	60 VDC	3A	Phototriac	US\$ 14.16

Tabla 5.4: Alternativas de diseño para la Interfaz de salidas digitales

- **Optoacoplador + Relé Contacto:** son más económicos, pero se añade una aislación adicional mediante optoacoplador para separar bien el circuito con la bobina de la Unidad de Control.
- **Relé Estado Sólido:** son más caros, pero poseen mayor robustez (y soportan una tensión de trabajo mayor).

5.1.4.2. Elección de una solución

Dado que el cliente no incluyó requerimientos adicionales sobre los actuadores a conectar, se optó por la opción más simple, en este caso los **Relé de Contacto + Optoacoplador**.

5.1.5. Implementación de módulo <<Interfaz entradas analógicas>>

5.1.5.1. Alternativas de diseño

Para poder realizar la funcionalidad propuesta de entradas analógicas, dado que las entradas analógicas del módulo trabajan con un protocolo 4-20mA, hay que realizar una conversión de corriente a tensión de modo tal que los ADC disponibles en la unidad de control puedan efectuar una lectura del valor de tensión asociado a lo que mide cada sensor respectivamente.

En base a estos criterios, se construyó la siguiente tabla.

Opciones	Factores a tener en cuenta				
	uC con ADC suficientes	Requiere calibrar	Precisión	Aprovecha todo el rango de V	Costo
4x Resistor	Si	No	± 1%	No	*
4x Conv. I/V Arduino	Si	Si	± 0.2%	Si	US\$ 24
ADS7841 +4x Resistor	No	No	± 0.1%**	No	US\$ 8
ADS7841 +4x Conv. I/V	No	Si	+0.3%	Si	US\$ 32

Tabla 5.5: Alternativas de diseño para Interfaz de entradas analógicas

Se solicitó que el módulo trabajara con 4 entradas analógicas, por lo tanto, los ADC necesarios resultan ser 4. Cuando se realizó la búsqueda de microcontroladores disponibles en el mercado, se halló que no siempre llegaban a disponer esa cantidad de ADC. Frente a esta problemática, se pudo hallar un *workaround* que consiste

en utilizar el módulo ADS 7841. Dicho módulo contiene 4 ADC, los cuales se multiplexan y se envía la lectura mediante la salida serial que posee. Dado que la unidad de control seleccionada se trata del STM32F407, el cual posee 3 ADC, surge como necesidad utilizar el módulo ADS 7841.

Resuelta esta problemática, solo queda explorar la conversión de corriente a tensión. En esta nueva problemática se contemplaron dos posibles soluciones. Por un lado, se colocan 4 resistores en la entrada de cada ADC. Por otro lado, en las mismas entradas se colocan módulos de conversión de corriente a tensión Arduino.

La opción de colocar resistores tiene como ventaja el hecho de que no requiere calibración, pero no aprovecha todo el rango de tensión disponible del ADC. En cambio, en la opción de los conversores Arduino, ocurre lo opuesto.

5.1.5.2. Elección de una solución

A pesar de que la opción que combina el módulo ADS 7841 y conversores Arduino parece ser la opción más viable en cuanto a la prestación, en términos de costo no lo es. Es por eso que se tomó la decisión de combinarlo con resistores.

5.1.6. DFMEA

Para la realización de la DFMEA, se tuvieron en cuenta los siguientes posibles problemas, según el módulo al que están asociados:

- Alimentación por POE: problemas de hardware (físicos o de implementación) o software (en este caso, relacionado a la implementación)
- Transmisión de medición de calibres: errores presentes en la trama de datos transmitida
- Entradas analógicas: mediciones fuera de rango, o problemas en el lazo de corriente
- Salidas digitales: problemas de configuración desde el servidor (software), o mal funcionamiento de estas (hardware)
- USB: problemas con la alimentación brindada

Se utiliza una escala de **1 a 5** para los tres índices. En el caso de Severidad, 1 para menos severo y 5 para máxima severidad. En el caso de Ocurrencia, 1 para menos frecuente y 5 para muy frecuente. Finalmente, en el caso de Detectabilidad, 1 para mayor facilidad de detectar la falla, y 5 para el caso de muy difícil detectabilidad.

Design FMEA										Action Results			
Item and Function/ Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Occurrence	Current Controls	Detection	RPN	Recommended Action	Severity	Occurrence	Detection	RPN
POE (Alimentación)	El switch no presenta alimentación a nuestro equipo	El equipo no enciende	3	El cable entre el switch y el equipo está defectuoso	2	(Ninguno)	5	30	Cambio de diseño: LED indicador de encendido en el equipo. Si el LED indicador del equipo no está encendido, debe reemplazarse el cable. Se contempla que el switch dispone de indicador de encendido propio.	3	2	3	18
Transmisión de medición	Transmisión errónea de la medición	El operario interpreta erróneamente el valor de medida de la pieza	5	La trama de datos sufrió una modificación debido a ruido eléctrico en el ambiente industrial	2	(Ninguno)	2	20	Cambio de diseño: agregar redundancia en SW/hw de transmisión de datos.	5	1	2	10
POE (Alimentación) - 2	El switch no presenta alimentación a nuestro equipo	El equipo no enciende	3	No realizó la secuencia correctamente, "falso contacto", elementos quemados	2	(Ninguno)	2	12	Cambio de diseño: añadir posibilidad de alimentación externa para el centro de diagnóstico para poder revisar la integridad interna del equipo.	3	2	1	6
Salidas Digitales	Funcionamiento incorrecto de el módulo I/O	La/s salidas no encienden cuando se lo solicita	2	Configuración incorrecta del servidor, problema de hardware en el equipo	2	(Ninguno)	2	8	Cambio de diseño: agregar validación interna de la configuración y notificar al servidor en caso de que ésta sea errónea.	2	2	1	4
Entradas Analógicas	Funcionamiento incorrecto de el módulo I/O	Medición fuera de rango	2	El sensor conectado no funciona bien, problema en el hardware del equipo	2	(Ninguno)	2	8	Colocar el equipo en modo de diagnóstico, y conectar la señal de referencia a la entrada afectada. Verificar su funcionamiento en todo el rango. Si pasa el diagnóstico, reemplazar el sensor y reintentar la medición. Sino, hay que revisar el equipo internamente.	2	2	2	8
Entradas Analógicas	Funcionamiento incorrecto de el módulo I/O	Medición en rango pero incorrecta	4	El sensor conectado no funciona bien, problema en el lazo de corriente	2	(Ninguno)	2	16	Colocar el equipo en modo de diagnóstico para verificar el funcionamiento de la entrada afectada en todo el rango. Si pasa el diagnóstico, reemplazar el sensor y reintentar la medición.	4	2	2	16
USB (Alimentación de Tablet)	El puerto USB no presenta alimentación	La Tablet no carga	2	Falla en la inicialización de POE, problema de hardware en el equipo, el equipo no recibe alimentación, el cable USB está defectuoso	3	(Ninguno)	2	12	Cambio de diseño: añadir LED de indicación de alimentación en la salida USB, para poder comprobar la correcta conectividad entre la Tablet y el puerto.	2	3	1	6

5.2. Factibilidad de tiempos.

5.2.1. Consideraciones

La distribución de las diferentes tareas se basa en la separación por módulos del producto. Como días de trabajo efectivos, se consideran los 5 días hábiles de la semana. Se descuenta el receso de verano (siendo esto Enero, y la primera quincena de Febrero).

Respecto a esto último, se añade una semana previa al mes de Marzo para revisar la organización y el estado del proyecto, en caso de requerir alguna actualización en la planificación.

5.2.2. Planificación (PERT y simulación de Montecarlo)

A continuación, se muestra un cuadro con las tareas estipuladas para el desarrollo del proyecto. Se indica el tiempo más probable, sumando además los tiempos más optimistas y pesimistas.

N°	Tarea	Duración optimista	Duración más probable	Duración pesimista	Predecesora
2	Detectar una necesidad	2	3	4	-
3	Definir el alcance	4	5	6	2
4	Antecedentes y Contexto	4	5	6	2
5	Entrevista a la empresa	1	3	5	3;4
6	Definir objetivos de Diseño	2	3	4	5
7	Escribir Requerimientos	2	4	6	6
8	Escribir Especificaciones	4	5	7	7
9	Planes de Validación	4	5	7	8
10	DFMEA - 1° Reunión	4	5	6	8
11	Investigación POE y Unidades de Control	8	10	14	7
12	Análisis de Factibilidad Tecnológica	10	15	20	11
13	Análisis de presupuesto y costos	12	15	20	7
14	Análisis de Factibilidad Económica	7	10	15	13
15	DFMEA - 2° Reunión	3	5	8	10
16	(Receso)	0	67	0	14
17	Cálculos y selección de HW	5	10	15	11;16
18	Diagrama de HW e implementación	12	15	20	17;15
19	Prueba de HW	12	15	20	18
20	Diagramación de SW	8	10	12	13;16
21	Implementación de SW	12	15	20	20
22	Diseño de prototipo - Gabinete	8	10	12	18;21
23	Validación de prototipo	15	20	25	22;19
24	Estudio de confiabilidad	5	10	15	23

Tabla 5.6: Tareas estipuladas con las duraciones estimadas

Efectuando la simulación de Montecarlo con las estimaciones establecidas previamente, se obtienen los siguientes resultados en términos de duración y fecha de finalización.

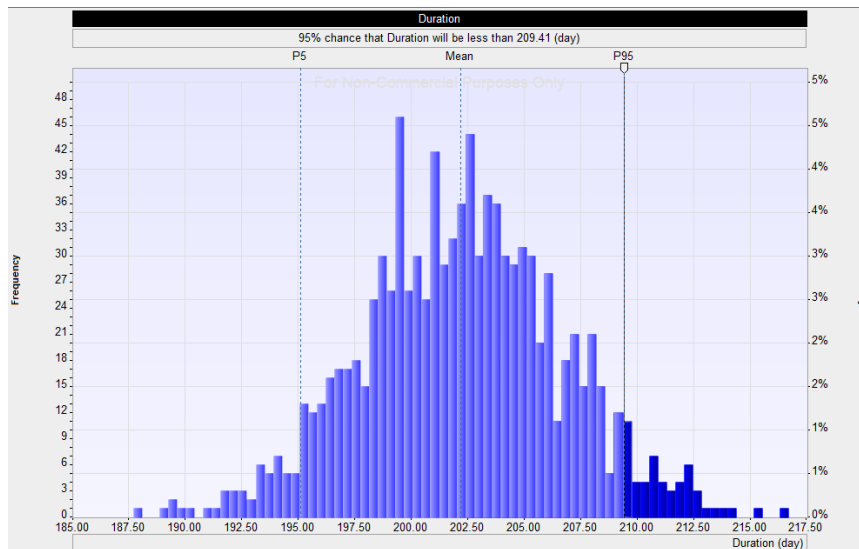


Figura 5-2: Simulación de Montecarlo – Duración en días

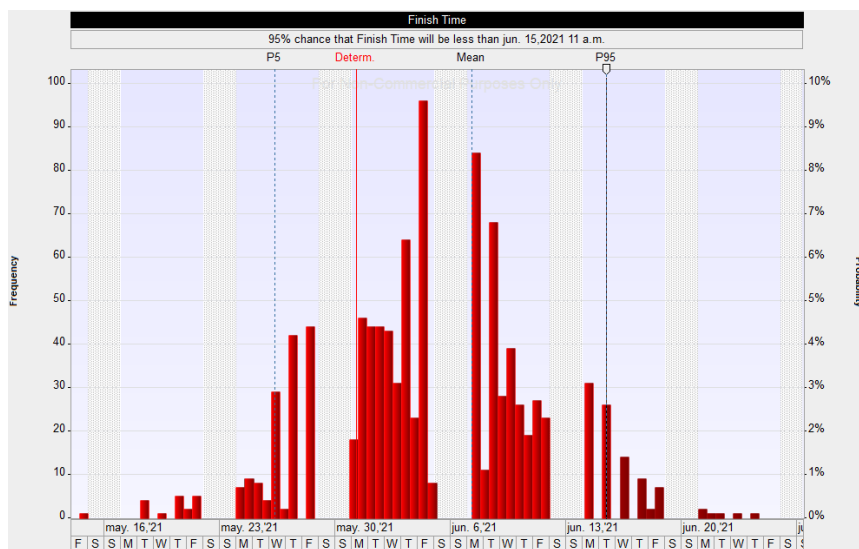


Figura 5-3: Simulación de Montecarlo – Fecha de finalización

De donde se estima que el proyecto estará finalizado para el 15 de Junio de 2021 con un 95% de probabilidad.

5.2.3. Programación (Gantt)

En el siguiente diagrama de Gantt, se muestran las tareas previamente tabuladas, indicando el camino crítico.

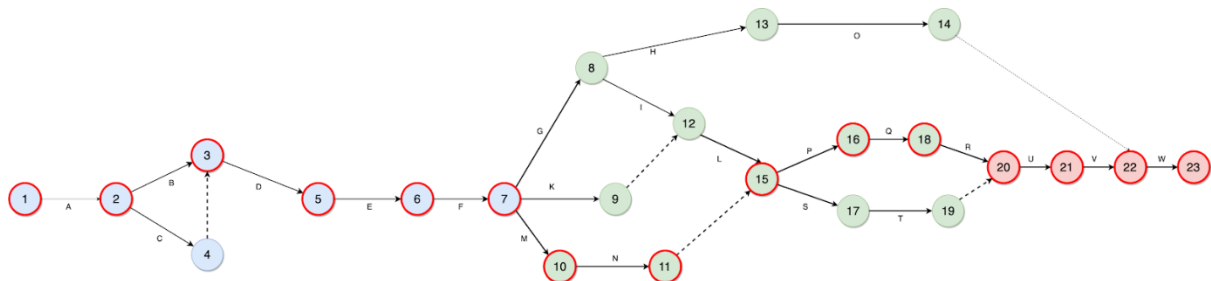


Figura 5-4: Diagrama de Gantt

En color azul, se marcan las tareas relacionadas al Hito 1, en verde las relacionadas a los Hitos 2 y 3, y finalmente en rojo las tareas correspondientes al Hito 4. El camino crítico está indicado por los círculos con borde rojo.

5.3. Factibilidad económica

5.3.1. Modelo de Negocios

Este diseño se trata de un proyecto único, con posibilidad de realizar hasta 5 unidades adicionales posteriores a su finalización.

El principal ingreso corresponderá al diseño del hardware y software para el control del módulo, para lo que se requiere de conocimiento técnico (que será el valor agregado del proyecto). Se lo contempla al finalizar el proyecto.

5.3.2. Gastos e Ingresos

Como gastos principales, se considera los traslados hacia la fábrica, para llevar a cabo la instalación, puesta en marcha y validación del prototipo. Dicho gasto se tendrá en cuenta a partir del mes de Marzo, hasta la finalización del proyecto, para todos los integrantes del grupo. Se contabilizarán 10 US\$ mensuales.

Para la compra de los componentes, se suman los costos estimados previamente, más el resto de los componentes misceláneos (resistores, capacitores, etc.) para el diseño de los circuitos involucrados. Se estima de este modo un costo de componentes de 100 US\$, a contabilizar una única vez.

Como ingreso, se va tiene en cuenta una suma de 200 US\$ contemplando los gastos que no estén siendo tenidos en cuenta y el resto será la ganancia del proyecto. Se apunta a obtener al finalizar, una ganancia del 50%.

5.3.3. Flujo de Fondos

Revisando los ítems anteriores, se arma el siguiente cuadro con el flujo de fondos para todo el proyecto.

	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingreso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
Egreso	0	0	0	0	10	0	0	10	110	10	10	10
Flujo	0	0	0	0	-10	0	0	-10	-110	-10	-10	190

Tabla 5.7: Flujo de Fondos

Calculando la VAN del proyecto resulta en 38.83 US\$ positivos, por lo tanto, el proyecto es viable económicamente.

5.4. Factibilidad legal y responsabilidad civil

5.4.1. Seguridad

Acorde a la regulación 351/79 del ENRE, el equipo va a trabajar en tensiones bajas (entre 50 y 1000 Vrms). La regulación considera una tensión de seguridad de hasta 24V respecto a tierra.

Los sectores relevantes que están expuestos en el equipo son las salidas digitales (24VDC Sink), y las entradas analógicas (4-20mA).

5.4.2. Certificación

Acorde a la resolución 169/2018, como el producto no es de producción masiva, no requiere realizarse una certificación obligatoria.

En caso de querer realizarla, la misma al momento es gratuita (de acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Productivo).

5.4.3. Normas a considerar

De acuerdo con lo estipulado en las especificaciones, las normativas a considerar son las siguientes:

- Estándar **802.3af** para módulo de alimentación por POE

- Estándar **4-20mA** para módulo de entradas analógicas
- Estándar de **24VDC SINK** para módulo de salidas digitales
- Norma **IEC 60529** para diseño de gabinete - Grado de protección IP
- Norma **IRAM 2491-1-1**: Definición de la terminología básica relacionada a CEM
- Norma **IRAM 2491-4-1** y **2491-4-2**: Técnicas de medición y ensayo para garantizar los valores deseados de EMI y de descargas eléctricas para entornos industriales
- Norma **IRAM 2491-4-14**: Norma para garantizar inmunidad electromagnética al equipo (SEM).

Siendo CEM = EMI + SEM (Emisiones electromagnéticas y Susceptibilidad Electromagnética)

6. Ingeniería de detalle

6.1. Hardware

- 6.1.1. Diagrama de bloques (hardware).
- 6.1.2. Descripción detallada de cada bloque
- 6.1.3. Detalles de selección y cálculo de los elementos circuitales de cada bloque
- 6.1.4. Plan de pruebas de cada modulo

6.2. Software

- 6.2.1. Diagrama de estados y flujogramas
- 6.2.2. Análisis de complejidad
- 6.2.3. Descripción de subrutinas
- 6.2.4. Listados comentados del código
- 6.2.5. Plan de prueba de módulos y de depuración de Software

7. Construcción del prototipo

7.1. Definición de los módulos

7.2. Diseño de los circuitos impresos

7.3. Diseño mecánico

7.4. Detalles de construcción y precauciones especiales de montaje

7.5. Bill of Materials (BOM)

8. Validación del prototipo

8.1. Estudios de confiabilidad de hardware y de software

8.2. Resultados

8.3. Evaluación

8.3.1. Evaluación de resultados técnicos

8.3.2. Evaluación de la planificación

8.3.1. Evaluación de la factibilidad financiera

8.4. Consideraciones finales hacia el producto final

9. Referencias

9.1. LIBROS

9.2. REVISTAS

9.3. Notas de aplicación

9.4. Fuentes Online

Compatibilidad Electromagnética - IRAM [Online]. Available: <https://cie.gov.ar/web/images/Compatibilidad-Electromagnetica.pdf>

Normas IP ANSI [Online]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/que-son-las-normas-ip>

Lazos de corriente 4-20mA [Online]. Available: https://www.herramientasingenieria.com/onlinecalc/spa/4_20mA.html

CPI: ¿Por qué 4-20mA? [Online]. Available: <https://cpi.com.ar/notas/por-que-4-20-ma/>

Design in high power POE IEEE [Online]. Available: <https://www.digikey.com/es/articles/design-in-high-power-poe-ieee-8023bt-solutions>

IEEE Standard for Ethernet [Online]. Available: https://es.qwe.wiki/wiki/Power_over_ethernet#Power_levels_available

Módulo de salida drenador de 24 VCC de estado sólido Compact (Especificaciones de Salida) [Online]. Available:

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in056_-es-p.pdf

10. Anexos Técnicos

- 10.1. Esquemáticos
- 10.2. Planos de PCB
- 10.3. Listado de Partes y Componentes (BOM)
- 10.4. Códigos de Software
- 10.5. Hojas de Datos de Componentes

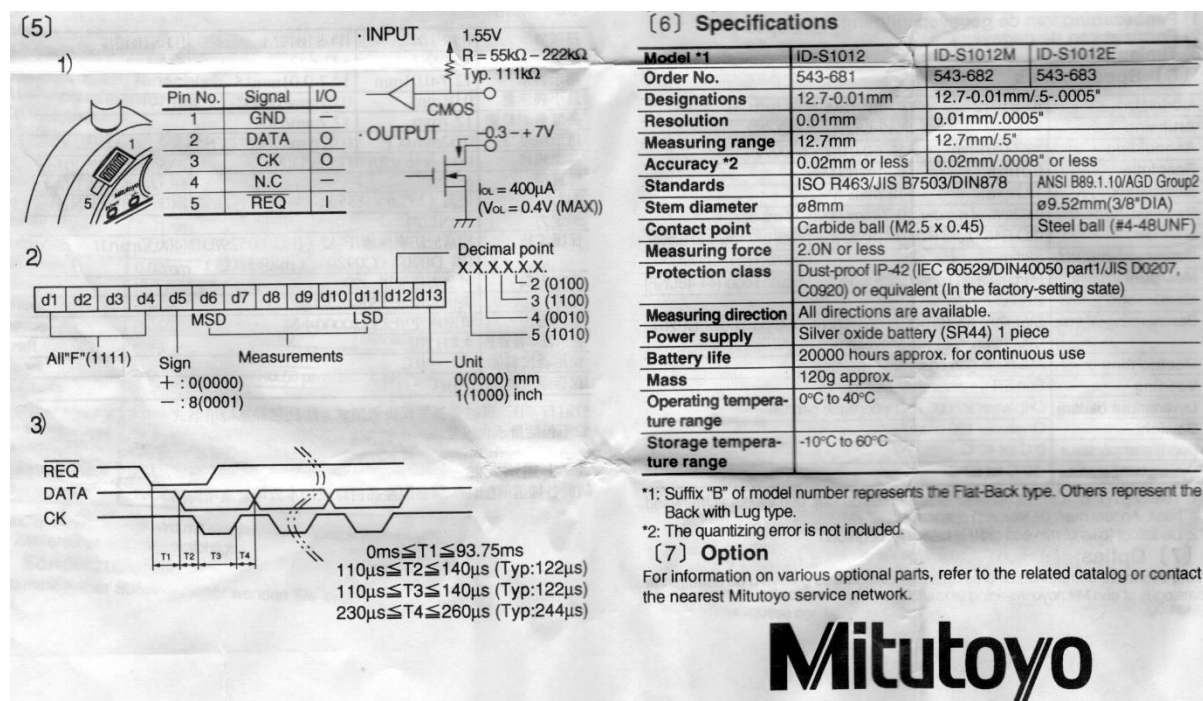


Figura 10-1: Especificaciones de comunicación del calibre

- 10.6. Hojas de Aplicación, etc.
- 10.7. Otra Documentación Técnica