



Sistema de filtrado de agua para laboratorios

Autor:

Ing. Agustín Miguel Grosso

Director:

Ing. Juan Antonio Tántera (UTN FRBA. Galileo Technologies S.A.)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 20 de octubre de 2022 y el 8 de diciembre de 2022.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	8
3. Propósito del proyecto	8
4. Alcance del proyecto	8
5. Supuestos del proyecto.	8
6. Requerimientos	9
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	9
8. Entregables principales del proyecto	11
9. Desglose del trabajo en tareas	12
10. Diagrama de Activity On Node.	13
11. Diagrama de Gantt	14
12. Presupuesto detallado del proyecto	15
13. Gestión de riesgos	15
14. Gestión de la calidad	16
15. Procesos de cierre	17

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de octubre de 2022
1	Redacción del acta de constitución del proyecto Identificación y análisis de los interesados Redacción de la descripción técnica-conceptual Definición del propósito y alcance del proyecto	2 de noviembre de 2022
2	Definición de los requerimientos Definición de las historias de usuario (<i>Product backlog</i>) Declaración de los entregables del proyecto Desglose de tareas	11 de noviembre de 2022
3	Nuevo requerimientos sobre documentación Nueva historia de usuario sobre el cliente Se agrega el tiempo de fabricación de hardware en el desglose de tareas Diagrama de Activity On Node Diagrama de gantt Presupuesto del proyecto	17 de noviembre de 2022

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de octubre de 2022

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Agustín Miguel Grosso que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de filtrado de agua para laboratorios”, consistirá esencialmente en el desarrollo de un equipo capaz de proveer agua con características adecuadas para análisis médicos, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo, con fecha de inicio 20 de octubre de 2022 y fecha de presentación pública 16 de octubre de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Marcelo Ricci
Ingeniería Clínica

Ing. Juan Antonio Tántera
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Aquellas tareas que deben ser realizadas en ambientes protegidos de la contaminación natural como lo son las salas limpias y los laboratorios, deben tener garantizado un estado continuo y controlado de muchos parámetros clave ambientales y de procesos. En las tareas de bioquímica, más específicamente el análisis de muestras de sangre, es necesaria la garantía de provisión continua de agua tipo I y/o II cuyas características se detallan en el cuadro 1.

Parámetro	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Conductividad eléctrica máx. [$\mu\text{S}/\text{cm}$ @ 25 °C)	0,056	1,0	4,0	5,0
Resistividad eléctrica mín. ($\text{M}\Omega \text{ cm}$ @ 25 °C)	18,2	1,0	0,25	0,2
PH a 25 °C	-	-	-	5,0 - 8,0
TOC máx. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	10	50	200	Sin límite
Sodio máx. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1	5	10	50
Sílice máx. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	3	3	500	Sin límite
Cloro máx. ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1	5	10	50

Cuadro 1. Especificaciones sobre los tipos de agua según ASTM D1193-91 (*American Society for Testing and Materials*).

Los equipos analizados disponibles en el mercado son dispositivos que contienen módulos para filtrado (carbón activado, filtros de partículas, cartuchos de ósmosis inversa) de gran tamaño para garantizar una vida útil funcional aceptable antes del reemplazo recomendado. También, ciertos parámetros que pueden verse alterados por la finalización del correcto funcionamiento de dichos módulos, en muchos casos, deben ser monitoreados y medidos de forma manual con cierta regularidad para detectar la necesidad de mantenimiento y/o cambio.

El actual desarrollo, además de cumplir con la pauta principal que es la erogación del agua definida, incorporará el control continuo del estado del sistema:

- Control de vida útil de módulos.
- Protección del sistema mediante medición de presiones.
- Detección e informe de fallas de cada etapa.
- Resguardo de información para análisis posteriores.

La principal ventaja de un control continuo y reportado es la posibilidad de realizar mantenimientos preventivos. La disponibilidad de información sobre el estado del sistema permite evitar que ciertos desvíos decanten en fallas críticas. También, las alertas sobre la vida útil de los distintos módulos de filtrado permiten adelantarse al recambio de estos módulos y vuelve más eficiente el esquema de mantenimiento. Este esquema de análisis y reportes posibilita el uso de módulos de menor tamaño y, por lo tanto, el equipo se vuelve más pequeño y cómodo para ser manipulado.

Como segunda parte del proyecto (no incluida en este plan) se encuentra el objetivo de incorporar los equipos a una red de IoT (*Internet of Things*) para el monitoreo del universo de equipos por parte del proveedor y permitiéndole elaborar esquemas de servicio técnico preventivo.

Se muestra, a continuación, un diagrama en bloques de la solución propuesta (figura 1):

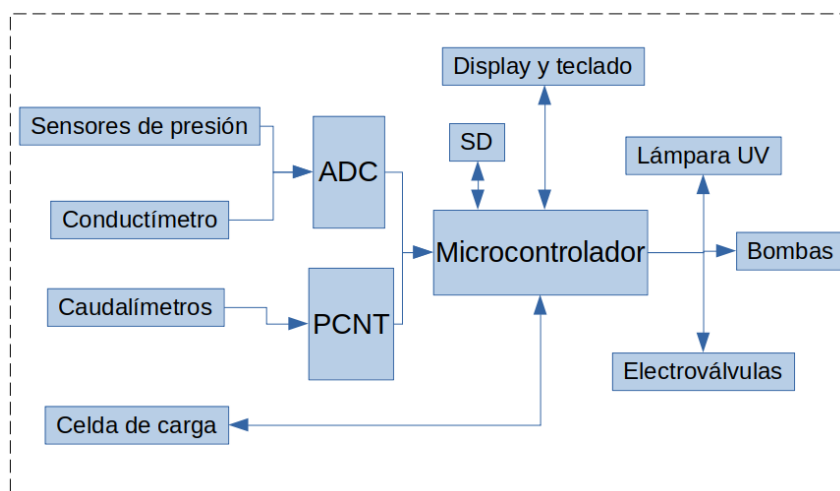


Figura 1. Microcontrolador y sus periféricos.

El núcleo lógico del sistema será un módulo ESP32 con FreeRTOS (*Free Real Time Operating System*) como sistema operativo. El microcontrolador será el encargado de leer las diferentes variables, analizarlas y actuar, como así también, deberá realizar tareas de almacenamiento de información y de comunicación con el usuario (teclado y display). Mediante la lectura de periféricos se analizarán variables para diferentes funciones:

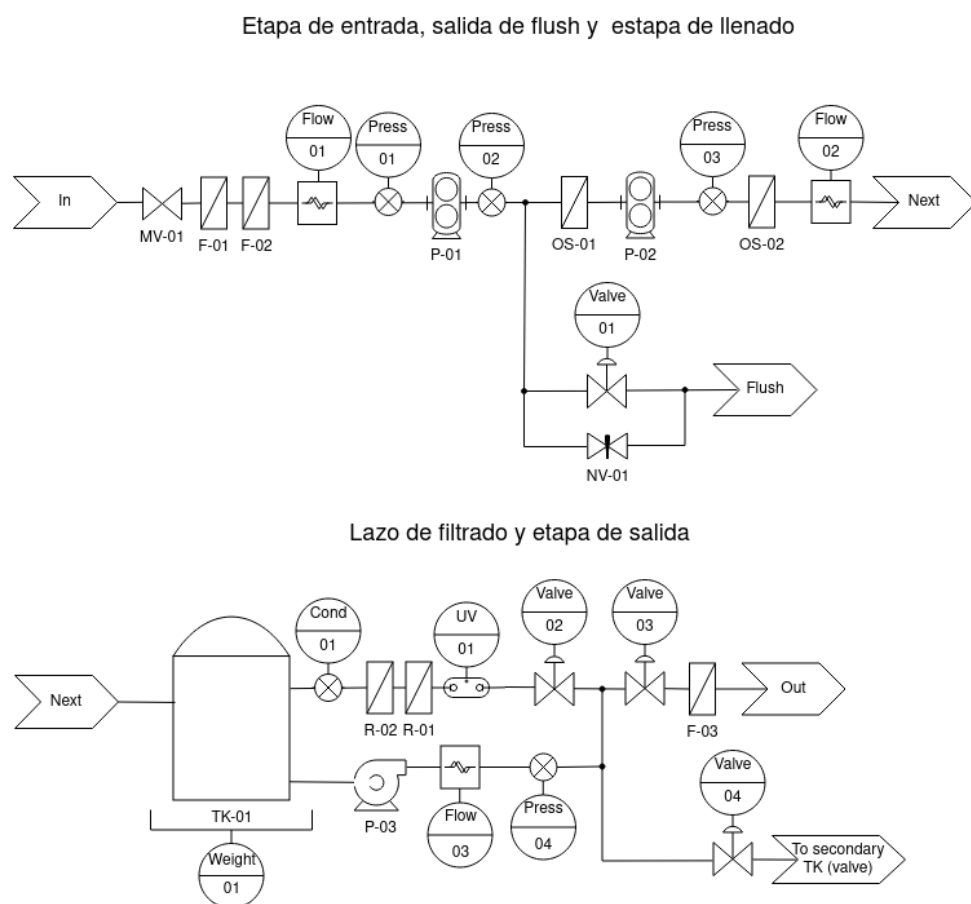
- Presión
 - Detección de obstrucciones.
 - Detección de fluido a la entrada.
 - Análisis del estado de filtros.
- Caudal
 - Detección de obstrucciones.
 - Medición de agua erogada.
 - Análisis del estado de filtros.
- Conductividad
 - Medición de estado del agua filtrada.
- Peso
 - Medición del estado de llenado del reservorio.

Las salidas del sistema sobre los cuales se actuará serán bombas, electro-válvulas y una lámpara UV (eliminación de agentes biológicos) para diferentes etapas:

- Ingreso de agua al equipo.
- Eliminación del descarte de las ósmosis.
- Llenado de reservorio.
- Re-circulación para el filtrado.

- Erogación de agua.

El sistema completo, conformado por los bloques de la figura 1 y el conexionado con los demás módulos, se detalla en la figura 2.



References:

- F-01: Particle Filter.
- F-02: Activated Carbon Filter
- F-03: Output filter (0.22um).
- MV-01: Input Manual Valve.
- NV-01: Needle Valve.
- P-01: First Stage Osmosis Pump.
- P-02: Second Stage Osmosis Pump.
- R-01: Resin Filter.
- R-02: Resin Filter.
- OS-01: First Stage Osmosis Membrane.
- OS-02: Second Stage Osmosis Membrane.

Figura 2. Esquema del equipo de filtrado.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Marcelo Ricci	Ingeniería Clínica	Gerente
Responsable	Ing. Agustín Miguel Grosso	FIUBA	Alumno
Orientador	Ing. Juan Antonio Tántera	UTN FRBA. Galileo Technologies S.A.	Director
Equipo	José Alejandro Tántera	GA.MA ITALY	Desarrollador de hardware
Usuario final	Laboratorios de análisis clínicos	-	-

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es garantizar la provisión de agua filtrada a laboratorios de análisis clínicos para, principalmente, la tarea de disolución de sangre. El sistema deberá ser capaz de suministrar agua a usuarios, mediante la solicitud a través de la interfaz correspondiente, y a un segundo sistema que se encontrará conectado a una salida dedicada.

A su vez, tiene el propósito de ser el primer proyecto del equipo de desarrollos electrónicos que se formará entre las personas que aquí participan como director, colaborador y alumno.

4. Alcance del proyecto

Se encuentra dentro del alcance del proyecto el desarrollo del firmware que implementará la lógica del sistema, el sensado de variables externas y la actuación sobre los dispositivos de salida. Como así también el prototipo de hardware del sistema embebido. El sistema embebido resultante del presente desarrollo será incorporado al equipo para realizar las pruebas de campo junto a las conexiones, los filtros, el reservorio, etc.

No se encuentra comprendido dentro del alcance del trabajo el diseño y la construcción de la estructura del equipo, el conexionado entre cada elemento y la selección de los filtros de partículas, lámpara UV y demás dispositivos externos. El proyecto no incluye pruebas ni habilitaciones en institutos o entes de regulación.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo en tiempo y forma del presente proyecto se supone que:

- El cliente no interrumpirá el proyecto.
- Todos los módulos que comprenden el proyecto pueden ser adquiridos.
 - Microcontrolador ESP32.
 - Expansor de GPIO (MCP23008 o MCP23017).

- Celda de carga y módulo HX711.
- La fabricación del hardware no se verá demorada por factores externos al proyecto y al equipo de desarrollo.
- Los desarrolladores (alumno y colaborador) cuentan con la disponibilidad de 12 horas por semana.
- Se cuenta con la documentación necesaria sobre los dispositivos utilizados.
- La estructura y el conexionado del equipo estarán listos para realizar la prueba de campo.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales

- 1.1. Deben garantizarse las propiedades de agua tipo II a la salida.
- 1.2. El usuario debe poder solicitar la erogación.
- 1.3. El sistema debe proveer agua a un segundo equipo automáticamente.
- 1.4. Debe detectarse cuándo el segundo equipo debe ser provisto.
- 1.5. El ingreso de agua al sistema, el llenado del reservorio y el filtrado deben ser automáticos.
- 1.6. Deben ser detectadas obstrucciones en filtros.
- 1.7. Debe analizarse la vida útil de los filtros.
- 1.8. Debe almacenarse información para posteriores análisis.

2. Requerimientos de metodología de trabajo

- 2.1. Control de versiones mediante GIT.
- 2.2. Aplicación de reglas de programación MISRA C.
- 2.3. Esquemáticos del hardware desarrollados en Altium.

3. Requerimientos de documentación

- 3.1. Debe generarse y entregarse un manual de usuario con información sobre el uso del equipo y su alcance funcional.
- 3.2. Debe generarse y entregarse documentación de carácter técnico.
 - Valores que deben ser entregados por el equipo (tabla 1).
 - Máquina de estados del sistema.
 - Formato de los datos almacenados en memoria SD.
 - Módulos que componen el sistema (marca, serie).

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Cada historia de usuario descripta en esta sección partirá desde requerimientos que cumplen necesidades del clientes (quién fabricará los equipos) y de los usuarios finales (personal de laboratorios principalmente).

El grado de importancia, dificultad y complejidad de cada ítem será finalmente representado con valor propios de la serie de fibonacci.

■ Historia de usuario 1

El usuario requiere de un sistema que utilice la red de agua corriente como fuente de alimentación.

- Dificultad: baja (1)
Implica el análisis de la presión a la entrada del equipo.
- Complejidad: baja (1)
Análisis de un solo sensor de presión.
- Riesgo: medio (3)
Sin un correcto funcionamiento el sistema se desabastece.

Story point: 5

Valor de fibonacci: 5

■ Valor de historia de usuario 2

El usuario requiere de la disponibilidad constante de agua mediante un reservorio con contenido controlado.

- Dificultad: media (3)
Implica el análisis de sensores de presión, caudalímetros y celdas de carga. También, se debe gestionar la activación de bombas y electro-válvulas.
- Complejidad: media (3)
La lógica debe analizar y comandar los periféricos para abastecer y mantener el contenido del tanque.
- Riesgo: medio (3)
Sin un correcto funcionamiento el sistema se desabastece o el reservorio podría desbordarse.

Story point: 9

Valor de fibonacci: 8

■ Historia de usuario 3

El usuario debe disponer de agua tipo II (ver tabla 1).

- Dificultad: alta (5)
Medición de variables clave.
- Complejidad: : media (3)
Control del lazo de filtrado.
- Riesgo: alto (5)
Es el bloque que debe garantizar la calidad del agua filtrada. Afecta a los procesos que requieren de agua tipo II.

Story point: 13

Valor de fibonacci: 13

■ Historia de usuario 4

El usuario requiere la posibilidad de obtener agua a demanda.

- Dificultad: : media (3)
Dispensación de agua y control del caudal.
- Complejidad: media (3)
Control del lazo de erogación y medición del agua erogada.

- Riesgo: bajo (1)

El usuario puede corregir algún error en la cantidad de agua entregada.

Story point: 7

Valor de fibonacci: 8

■ Historia de usuario 5

El usuario precisa que un segundo equipo sea provisto de agua por el sistema.

- Dificultad: baja (1)

Dispensación de agua sin control exacto de caudal.

- Complejidad: media (3)

Detección de necesidad de erogación a través de una rutina de medición de caudal.
Fin del proceso cuando el segundo sistema cierre su válvula de entrada.

- Riesgo: alto (5)

El equipo provisto de agua puede quedar desabastecido y afectar los procesos dependientes de este.

Story point: 9

Valor de fibonacci: 8

■ Historia de usuario 6

El cliente solicita que sean almacenados datos de forma periódica sobre el estado del sistema para disponer de información al momento de analizar y realizar un servicio técnico.

- Dificultad: baja (1)

Escritura de tarjeta de memoria SD.

- Complejidad: media (3)

Requiere detectar datos clave y vincular los distintos módulos de software con el encargado del almacenamiento de información.

- Riesgo: bajo (1)

No afecta directamente al equipo y a su funcionamiento en régimen permanente.

Story point: 5

Valor de fibonacci: 5

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Firmware
- Diagrama de circuitos esquemáticos
- Prototipo (firmware y hardware) funcional.
- Manual de uso
- Informe final

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Gestión del Proyecto

- 1.1. Definición de los requerimientos en conjunto con el cliente (8 h)
- 1.2. Definición inicial de la solución de hardware y software (16 h)
- 1.3. Planeamiento inicial (8 h)
- 1.4. Presentación de la propuesta al cliente (6 h)
- 1.5. Ajustes de requerimientos (8 h)
- 1.6. Documentación del alcance y planeamiento del proyecto (24 h)

2. Investigación

2.1. Periféricos (32 h)

- Celda de carga
- Caudalímetro
- Sensor de presión
- Conductímetro
- Memoria SD
- Display

2.2. Microcontrolador (16 h)

2.3. Componentes adicionales (32 h)

- Expansor de GPIO
- Transistores
- Driver para transistores
- Otros

2.4. Fabricantes (4 h)

3. Desarrollo de hardware

3.1. Diseño de diagramas esquemáticos (40 h)

3.2. Diseño de PCB (32 h)

3.3. Fabricación de PCB (64 h)

4. Desarrollo de software

4.1. *Device Drivers*

- Celda de carga HX711 (16 h)
- Bomba (6 h)
- Electro-válvula (4 h)
- Lámpara UV (4 h)
- Caudalímetro (16 h)
- Sensor de presión (8 h)
- Conductímetro (8 h)
- Módulo SD (16 h)
- Display (32 h)
- Teclado (16 h)

- 4.2. Diseño de la MEF (Máquina de Estados Finitos) (8 h)
- 4.3. Programación de tareas de *FreeRTOS* (24 h)
- 4.4. Programación de la MEF (24 h)
- 5. Prueba y verificación
 - 5.1. Planificación (16 h)
 - 5.2. *Device Drivers* (24 h)
 - 5.3. Lógica del sistema (8 h)
 - 5.4. Sistema integrado (40 h)
 - 5.5. Modificaciones (40 h)
- 6. Documentación
 - 6.1. Elaboración del manual de uso (24 h)
 - 6.2. Elaboración del informe final (60 h)

Cantidad total de horas: 684 h.

10. Diagrama de Activity On Node

Se detalla, en la figura 3, los bloques correspondientes al diagrama de *Activity On Node*. Se utilizan los tiempos en horas de las tareas definidas en el desglose del trabajo (sección 9). Se estima que la fabricación del PCB llevará un mes y medio. A un supuesto ya definido de 12 h semanales, se proyecta, entonces, al bloque "*Fabricación de HW*" con un equivalente de 64 h, es decir, 6 semanas. A esta rama, que contiene dicho bloque con tiempo variable dependiente del fabricante, se la etiqueta como camino semicrítico.

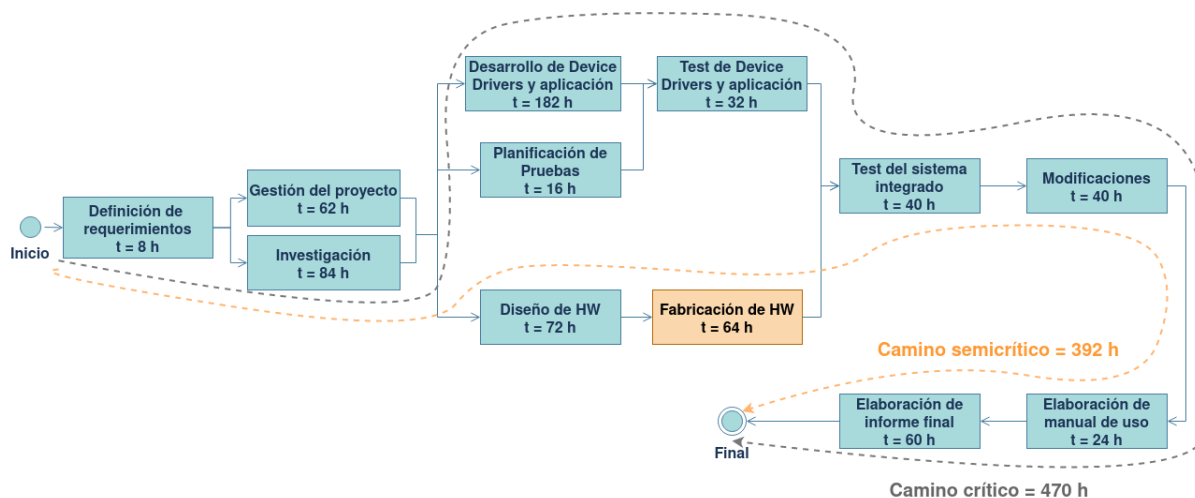


Figura 3. Diagrama en *Activity on Node*

11. Diagrama de Gantt

Se muestra a continuación, en las figuras 4 y 5, el desglose de tareas y el diagrama de gantt respectivamente.

Se definió una semana de 6 (seis) días laborables de 2 (dos) horas cada uno para cumplir con la disponibilidad supuesta en la sección 5 de 12 (doce) horas por semana.

WBS	Nombre	Inicio	Fin	Trabajo
1	▼ Gestión del Proyecto	nov 15	ene 2	35d
1.1	Definición de los requerimientos en conjunto con el cliente	nov 15	nov 18	4d
1.2	Definición inicial de la solución de hardware y software	nov 21	nov 30	8d
1.3	Planeamiento inicial	dic 1	dic 6	4d
1.4	Presentación de la propuesta al cliente	dic 7	dic 9	3d
1.5	Ajustes de requerimientos	dic 12	dic 15	4d
1.6	Documentación del alcance y planeamiento del proyecto	dic 16	ene 2	12d
2	▼ Investigación	nov 21	ene 17	42d
2.1	Periféricos	nov 21	dic 12	16d
2.2	Microcontrolador	dic 13	dic 22	8d
2.3	Componentes adicionales	dic 23	ene 13	16d
2.4	Fabricantes	ene 16	ene 17	2d
3	▼ Desarrollo de hardware	ene 18	abr 21	68d
3.1	Diseño de diagramas esquemáticos	ene 18	feb 14	20d
3.2	Diseño de PCB	feb 15	mar 8	16d
3.3	Fabricación de PCB	mar 9	abr 21	32d
4	▼ Desarrollo de software	ene 18	abr 14	91d
4.1	Device Drivers	ene 18	abr 14	63d
4.2	Diseño de la MEF	ene 18	ene 23	4d
4.3	Programación de tareas de FreeRTOS	ene 24	feb 8	12d
4.4	Programación de la MEF	feb 9	feb 24	12d
5	▼ Prueba y verificación	abr 17	jul 13	64d
5.1	Planificación	abr 17	abr 26	8d
5.2	Device Drivers	abr 27	may 12	12d
5.3	Lógica del sistema	may 15	may 18	4d
5.4	Sistema integrado	may 19	jun 15	20d
5.5	Modificaciones	jun 16	jul 13	20d
6	▼ Documentación	jul 14	sep 11	42d
6.1	Elaboración del manual de uso	jul 14	jul 31	12d
6.2	Elaboración del informe final	ago 1	sep 11	30d

Figura 4. Estructura de Descomposición del Trabajo (*Work Breakdown Structure*).

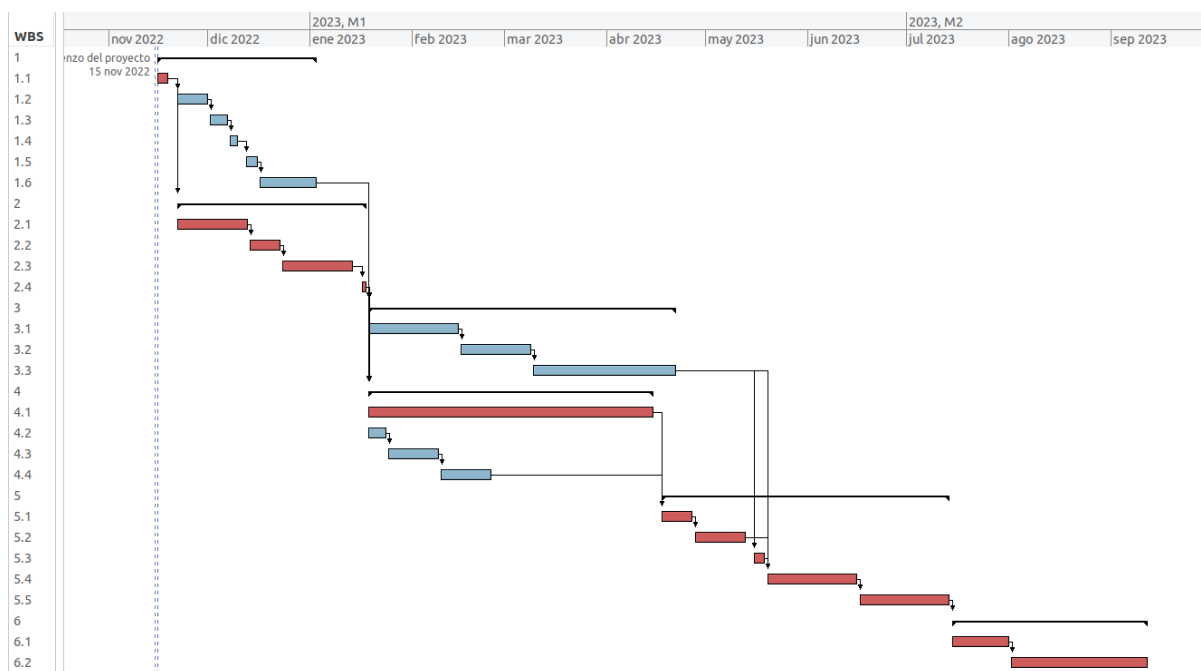


Figura 5. Diagrama de gantt del proyecto.

12. Presupuesto detallado del proyecto

Se presenta, en el cuadro 2, el listado de costos principales del proyecto. No se tienen en cuenta, en este análisis de costos, los sensores y actuadores que ya han sido provistos por el cliente.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Desarrollo de software	91 h	\$ 3000	\$ 273000
Desarrollo de hardware	72 h	\$ 3000	\$ 216000
Kit de desarrollo ESP32	2 u	\$ 4000	\$ 8000
Fabricación de hardware	5 u	\$ 10000	\$ 50000
Otros componentes	1	\$ 10000	\$ 10000
SUBTOTAL			\$ 557000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
60 % del costo directo	1	\$ 334200	\$ 334200
SUBTOTAL			\$ 334200
TOTAL			\$ 891200

Cuadro 2. Definición de costos del proyecto.

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos de forma negativa)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S):
- Ocurrencia (O):

Riesgo 3:

- Severidad (S):
- Ocurrencia (O):

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como $RPN=S \times O$)

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a...

Nota: los valores marcados con (*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación). Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación: - Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S). - Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

14. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: copiar acá el requerimiento.
 - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar
 - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc. Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno. En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron: - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores: - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.