



# Sistema de Monitoreo Térmico de Bogies

Autor:

Ing. Hernán Gomez Molino

Director:

Esp. Ing. Martín Harris (SOFSE - DNT)

Codirector:

Ing. Guillermo Figini (SOFSE - DNT)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 24 de junio de 2021 y el 19 de agosto de 2021.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	7
3. Propósito del proyecto . . . . .	7
4. Alcance del proyecto . . . . .	7
5. Supuestos del proyecto. . . . .	8
6. Requerimientos . . . . .	8
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	10
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	11
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	11
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	12
11. Diagrama de Gantt . . . . .	14
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	17
13. Gestión de riesgos . . . . .	17
14. Gestión de la calidad . . . . .	18
15. Procesos de cierre . . . . .	19

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento.	24/06/2021
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive.	08/07/2021
2	Se cambio el título del documento. Se actualizó el punto 5. Supuestos del proyecto. Se completa hasta el punto 9 inclusive.	15/07/2021
3	Se cambio cambió la designación de prioridades del punto 6. Se completa hasta el punto 12 inclusive.	29/07/2021

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 24 de junio de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Hernán Gomez Molino que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de Monitoreo Térmico de Bogies”, que consistirá esencialmente en la implementación del prototipo de un sistema que gestionará la información y alarmas de las temperaturas relevantes de los pares montados de la locomotora, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y costo a definir, con fecha de inicio 24 de junio de 2021 y fecha de presentación pública 20 de junio de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Esp. Ing. Mariano Fernández Soler  
CENADIF

Esp. Ing. Martín Harris  
Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Las locomotoras CNR - CKD8, incorporadas a la flota de Trenes Argentinos, tienen integrado en su equipamiento original un sistema denominado Hot Box.

El objetivo principal del sistema es evitar la operación de la locomotora en una condición de sobretemperatura de rodamientos en los bogies (carros inferiores que contienen los ejes, sobre los que se soporta la carrocería) que pueda desencadenar en una falla catastrófica.

Para ello detecta la condición temprana de degradación mediante el monitoreo constante de la temperatura de operación en los puntos pasibles de falla.

El sistema está compuesto por:

- Dos cajas Hot Box ubicadas una en cada cabina de conducción, sobre el pupitre de mando.
- Un bus sensores con protocolo 1Wire.
- 36 sensores de temperatura, ubicados 6 en cada par montado (conjunto de eje y ruedas).
- Una conexión de comunicación entre ambas Hot Box.
- Un conector frontal, ubicado en la Hot Box de la cabina 1, que permite la conexión de un sensor.

La disposición de estos componentes se muestra esquemáticamente en la figura 1.

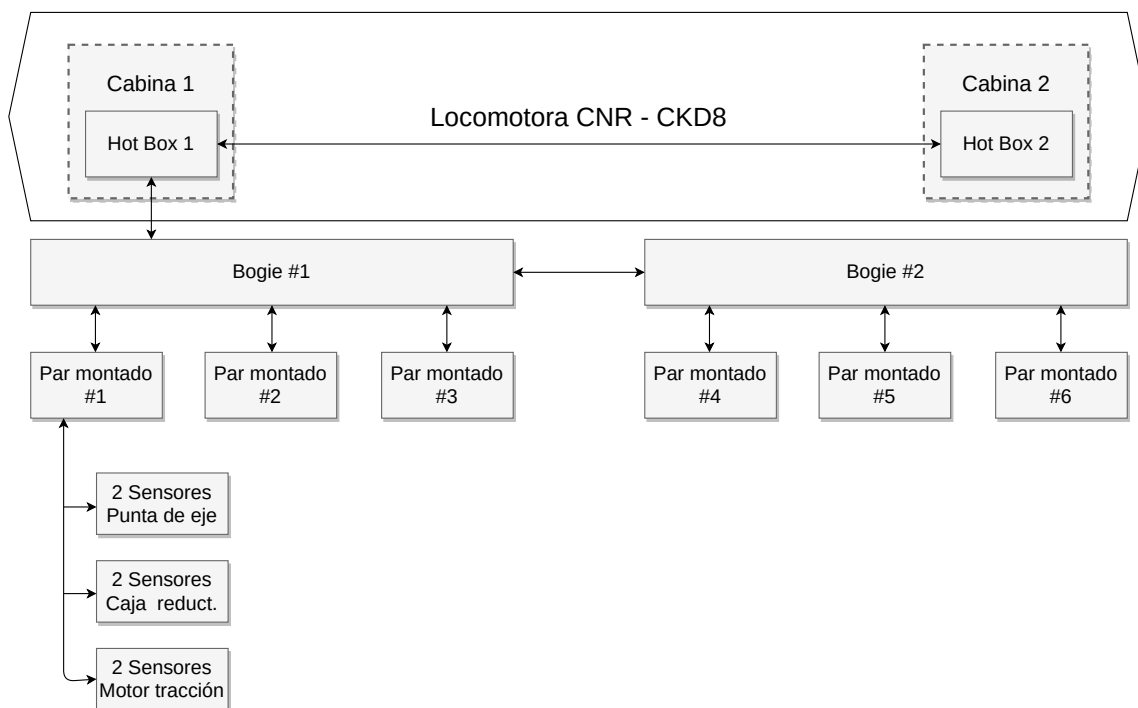


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

Si bien las cajas presentan funcionalidades distintas, ambas integran un microcontrolador, 5 teclas idénticas y presentan la información al conductor mediante un display de 7 segmentos,

de 6 dígitos, y una matriz de LEDs de 6 x 6. Sus diferencias consisten en la conexión al bus y el conector frontal, que solo están implementados en la Hot Box 1.

El sistema original adolece de diversos problemas a la hora de realizar su mantenimiento:

- Diseño cerrado: la información puesta a disposición por el fabricante para la reparación de los componentes es inexistente en los manuales provistos. Los repuestos disponibles para adquisición en la fábrica solo contemplan el recambio de unidades completas.
- Costos de reposición: los repuestos deben importarse del país de origen, lo que impacta fuertemente en los costos de adquisición. El fabricante es, además, el único proveedor del sistema a nivel global.
- Soporte de postventa: el fabricante no provee la posibilidad de realizar cambios o mejoras al sistema.

Con la motivación de corregir estos problemas, se propone desarrollar un reemplazo del sistema de diseño propio, con la máxima integración de componentes nacionales posible y reutilizando la instalación existente en las locomotoras. Adicionalmente, este desarrollo permitirá la nacionalización de las cadenas de valor que siempre resulta ventajosa para el país.

Específicamente, el desarrollo comprenderá el reemplazo de ambas unidades Hot Box por las que se denominarán Unidad de Control e Interfaz (UCI) y los sensores de temperatura. Las UCI conservarán el factor de forma original y su alimentación eléctrica de manera que el reemplazo de sistema solo implique el recambio de las unidades, sin tener que intervenir la instalación existente. El hardware será rediseñado para utilizar la tecnología nacional seleccionada para el proyecto.

El software embebido de las UCI (SUCI) contará con las funcionalidades actuales, más el agregado de algunas que mejorarán sus posibilidades de uso. Las funciones principales serán:

- El sistema deberá gestionar la información de los 36 sensores instalados en los bogies.
- El sistema deberá registrar de manera no volátil (EEPROM) la correspondencia del ID de sensor con la ubicación en que se encuentra.
- El sistema deberá presentar la información de temperatura y ubicación de la lectura al conductor de la locomotora.
- El sistema deberá gestionar las alarmas que se requieran para cada ubicación.
- El sistema permitirá la operación degradada (sensor/es o UCI fuera de servicio).
- El sistema deberá proveer soporte a las tareas de mantenimiento del sistema:
  1. Lazo de autochequeo del sistema. Es la comprobación de la existencia y consistencia de registros de sensores en ambas UCI, y comunicación con los sensores registrados.
  2. Alta de sensor nuevo (registro de ID y ubicación).
  3. Alta de UCI#1 nueva (carga de registro EEPROM actual utilizando UCI#2 como soporte).
  4. Alta de UCI#2 nueva. (carga de registro EEPROM actual utilizando UCI#1 como soporte).

- Deberá proveer soporte a las tareas de mantenimiento mecánico de material rodante:
  1. Cambio de uno o ambos bogies. Esto requerirá un procedimiento de alta de sensores sin necesidad de desinstalarlos.
  2. Instalación de UCI utilizada en otra locomotora. Esto requerirá un procedimiento para resolver el conflicto de configuración a nivel EEPROMs.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Esp. Ing. Mariano Fernández Soler	CENADIF	Gte de Innovación
Responsable	Ing. Hernán Gomez Molino	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Ing. Guillermo Figini	SOFSE - DNT	Codirector Trabajo Final
Orientador	Esp. Ing. Martín Harris	SOFSE - DNT	Director Trabajo Final
Equipo	Ing. Germán Zaupa Esteban Landeira	SOFSE - DNT	
Usuario final	Conductores y mecánicos de locomotoras		

- Cliente, Esp. Ing. Mariano Fernández Soler: es el titular de CENADIF, órgano promotor del proyecto.
- Orientador, Esp. Ing. Martín Harris: posee amplia experiencia en sistemas electrónicos de uso ferroviario.
- Colaborador, Ing. Guillermo Figini: posee amplia experiencia en material rodante ferroviario.
- Equipo, Ing. Germán Zaupa: estará a cargo del diseño mecánico de las UCI y los sensores.
- Equipo, Esteban Landeira: coordinará las pruebas sobre locomotoras.

## 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un prototipo de un sistema de monitoreo de temperaturas de bogies que permita validar el diseño, ser homologado y producido localmente para su uso en las locomotoras de Trenes Argentinos. Adicionalmente, se pretende mejorar el soporte y la mantenibilidad del sistema durante su ciclo de vida.

## 4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye las siguientes actividades:

- Diseño del hardware (UCI#1 y UCI#2)(\*1).
- Desarrollo del software(UCI#1 y UCI#2)(\*1 y \*2).
- Diseño de los componentes mecánicos (cajas UCI y encapsulado de sensores).
- Construcción de un prototipo.
- Pruebas de ajuste y aceptación.

No se incluyen las siguientes tareas:

- Desarrollo de un sistema de control de temperatura de rodamientos.
- Producción en serie del sistema.

(\*1) Se prevé la posibilidad de utilizar un solo hardware para ambas UCI, lo que permitiría reducir el stock de repuestos necesarios. En ese caso, un solo software debería cubrir ambas posibilidades con la incorporación de algún medio de selección del rol de la UCI. Por ejemplo, utilizar un jumper.

(\*2) Se prevé la posibilidad de utilizar un software que simule el funcionamiento de los periféricos para pruebas del sistema.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se contará con disponibilidad de dos unidades EDU-CIAA-NXP o CIAA-NXP en su defecto, como así también los componentes necesarios para el avance del proyecto.
- Se contará con los componentes mecánicos necesarios para el proyecto (Cajas UCI, vainas de sensores y su encapsulado, etc).
- Se contará con autorización y disponibilidad para realizar pruebas en locomotoras.

## 6. Requerimientos

A continuación se listan los requerimientos del sistema acordados con el cliente, separados según correspondan a su diseño, funcionalidades, interfaz Hombre/Máquina, mantenimiento o documentación. Al lado de cada requerimiento se indica su prioridad entre corchetes, siendo:

[ P1 ]: mandatorio.

[ P2 ]: necesario (debe implementarse, pero puede proponerse una alternativa).

[ P3 ]: deseable (puede no cumplirse, pero debe justificarse).

[ P4 ]: opcional.



1. Requerimientos de diseño:

- 1.1. El sistema debe conservar el factor de forma de la unidades, alimentación eléctrica, conectores y cables del sistema original reemplazado [P1].
- 1.2. Los sensores deberán ser intercambiables con los del sistema reemplazado [P1].
- 1.3. La comunicación entre UCIs no podrá utilizar más de 4 conductores (6 existentes, 2 reservados para alimentación de la UCI#2) [P1].
- 1.4. Los modelos de UCI podrán ser intercambiables, incluyendo un medio de selección de la posición en que se instalan. Se debe incluir en el software un algoritmo para resolución de conflictos por selección errónea [P4].

2. Requerimientos funcionales

- 2.1. El sistema deberá gestionar un bus al que se conectan 36 sensores de temperatura tipo DS18B20 (bus#1) [P1].
- 2.2. Deberá registrar de manera no volátil (EEPROM) la correspondencia del ID de sensor con la ubicación en que se encuentra, en ambas UCI [P2].
- 2.3. El sistema deberá gestionar un bus al que se conectará un solo sensor a la vez, para permitir su alta individual en el registro ROM (bus#2) [P2].
- 2.4. Se deberá permitir la operación degradada (sensores fuera de servicio y/o UCI#2 fuera de servicio) [P2].
- 2.5. El sistema deberá evaluar la condición de alarma según el algoritmo a definir [P2].
- 2.6. La condición de alarma deberá ser informada por el sistema de manera visual y sonora [P1].
- 2.7. La alarma sonora tendrá la posibilidad de ser silenciada, volviendo a activarse cíclicamente, en tanto la condición de alarma continúe [P1].
- 2.8. La alarma visual no podrá ser desactivada, en tanto la condición de alarma continúe [P1].
- 2.9. Las unidades UCI deberán comunicarse con los buses de sensores a través del protocolo OneWire [P1].
- 2.10. Cada unidad UCI deberá contar con un display LCD de tipo gráfico o texto [P2].
- 2.11. Cada unidad UCI deberá contar una matriz LED de 6 x 6, que se utilizará para mostrar ubicaciones correspondiendo cada fila al número de eje y cada columna al número de sensor [P3].
- 2.12. Cada unidad UCI deberá contar con pulsadores, en número no menor a cuatro, para permitir el ingreso de opciones de menú o selección de ubicaciones por parte del usuario [P3].
- 2.13. Cada unidad UCI deberá contar con un pulsador (aparte de los requeridos en el item anterior para permitir el reset total del sistema [P3].
- 2.14. El tiempo entre actualización de un dato de temperatura en particular no deberá exceder los 60 segundos [P2].
- 2.15. Se deberá contar con una función de registro de alarmas (datalogging) [P4].

3. Requerimientos de la interfaz Hombre/Máquina.

- 3.1. El sistema deberá mostrar los mensajes de estados y menús en el display LCD, mediante texto [P2].

- 3.2. El sistema deberá mostrar información referente al estado del sensor mediante la matriz LED. Para ello, encenderá de modo fijo el LED correspondiente a la temperatura mostrada en display y de modo intermitente el que corresponda a un sensor fuera de servicio [P3].
- 3.3. El sistema no se limitará a mostrar las ubicaciones solo en la matriz LED. Lo hará además en el display LCD, mediante texto [P4].
4. Requerimientos de mantenimiento.
  - 4.1. El sistema deberá evaluar su condición de funcionamiento e informar su estado [P2]. Como mínimo deberá incluirse:
    - comunicación entre UCIs
    - comunicación con sensores
    - existencia y consistencia de registros ROM
    - alta de sensores en ROM).
  - 4.2. El autochequeo se realizará automáticamente al iniciar el sistema y a requerimiento del usuario [P2].
  - 4.3. Se utilizarán las memorias ROM de ambas UCI como respaldo de la otra, para facilitar el alta de todos los sensores ante el cambio de una UCI [P2].
  - 4.4. Se proveerá soporte para un procedimiento de alta de sensor (registro de ID y su ubicación) [P2].
  - 4.5. El alta de sensor podrá realizarse de manera individual por el bus#2; o de manera secuencial para todos los sensores instalados por el bus#1 (bus normal de trabajo de los sensores) [P2].
5. Requerimientos de documentación.
  - 5.1. El sistema se proveerá con su manual de operación [P1].
  - 5.2. El sistema se proveerá con su manual de mantenimiento [P2].

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

A continuación se presentan cinco historias de usuarios con sus respectivas ponderaciones de esfuerzo relativo (story points).

Para su cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$SP = Fibo(PtCarga + 1, 5.PtCompl + 2.PtIncert) \quad (1)$$

siendo:

SP - story points.

Fibo - función que asigna el número de Fibonacci más cercano al argumento.

PtCarga - puntaje por carga de trabajo (1 a 5).

PtCompl - puntaje por complejidad (1 a 5).

PtIncert - puntaje por incertidumbre (1 a 5).

Notesé que los puntajes son multiplicados por factores de ponderación, antes de ser sumados.

- Historia de usuario 1  
"Como conductor quiero elegir la temperatura que visualizo para hacer su seguimiento".  
(PtCarga = 2; PtCompl = 1; PtIncert = 1; [SP=5]).
- Historia de usuario 2  
"Como mecánico quiero registrar el nuevo sensor antes de reemplazarlo para que todo el recambio no demore más de diez minutos".  
(PtCarga = 3; PtCompl = 2; PtIncert = 1; [SP=8]).
- Historia de usuario 3  
"Como conductor quiero realizar un diagnóstico del sistema para asegurar su estado de operación".  
(PtCarga = 3; PtCompl = 3; PtIncert = 2; [SP=13]).
- Historia de usuario 4  
"Como conductor quiero silenciar la alarma sonora para evitar trabajar incómodo".  
(PtCarga = 1; PtCompl = 1; PtIncert = 1; [SP=5]).
- Historia de usuario 5  
"Como mecánico quiero reemplazar cualquiera de las UCI sin que se borre el registro de sensores para que el recambio no demore más de diez minutos".  
(PtCarga = 2,5; PtCompl = 2; PtIncert = 1,5; [SP=8]).

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Prototipo del sistema (UCI#1 y UCI#2).
- Manual de operación.
- Manual de mantenimiento.
- Memoria del trabajo.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Gestión del proyecto (152 hs)
  - 1.1. Elicitación de requerimientos (4 hs).
  - 1.2. Planificación (20 hs).
  - 1.3. Informe de avance (16 hs).
  - 1.4. Preparación de la memoria (40 hs).
  - 1.5. Redacción de la memoria (40 hs).
  - 1.6. Presentación del trabajo (32 hs).

2. Firmware (162 hs)
  - 2.1. Diseño conceptual (8 hs).
  - 2.2. Arquitectura (24 hs).
  - 2.3. Preparación del toolchain (10 hs).
  - 2.4. Módulos de manejo de hardware (30 hs).
  - 2.5. Funciones de operación normal (30 hs).
  - 2.6. Funciones de alarmas (24 hs).
  - 2.7. Funciones de mantenimiento (36 hs).
3. Hardware (136 hs)
  - 3.1. Diagrama en bloques (12 hs).
  - 3.2. Selección de componentes (16 hs).
  - 3.3. Gestión de componentes (16 hs).
  - 3.4. Diseño del circuito (20 hs).
  - 3.5. Diseño de circuito impreso (pcb) (40 hs).
  - 3.6. Implementación de circuito impreso (32 hs).
4. Pruebas (148 hs)
  - 4.1. Verificación por módulos (40 hs).
  - 4.2. Montaje de prototipo (36 hs).
  - 4.3. Emulación de sensores (40 hs).
  - 4.4. Validación (32 hs).
5. Documentación (28 hs)
  - 5.1. Manual de usuario (12 hs).
  - 5.2. Manual de mantenimiento (16 hs).

Cantidad total de horas: (626 hs).

## 10. Diagrama de Activity On Node

Dado que el proyecto se realizará con un solo recurso humano, todas las tareas pertenecen al camino crítico.

Referencia de colores:

-  Gestión del proyecto
-  Firmware
-  Hardware
-  Pruebas
-  Documentación

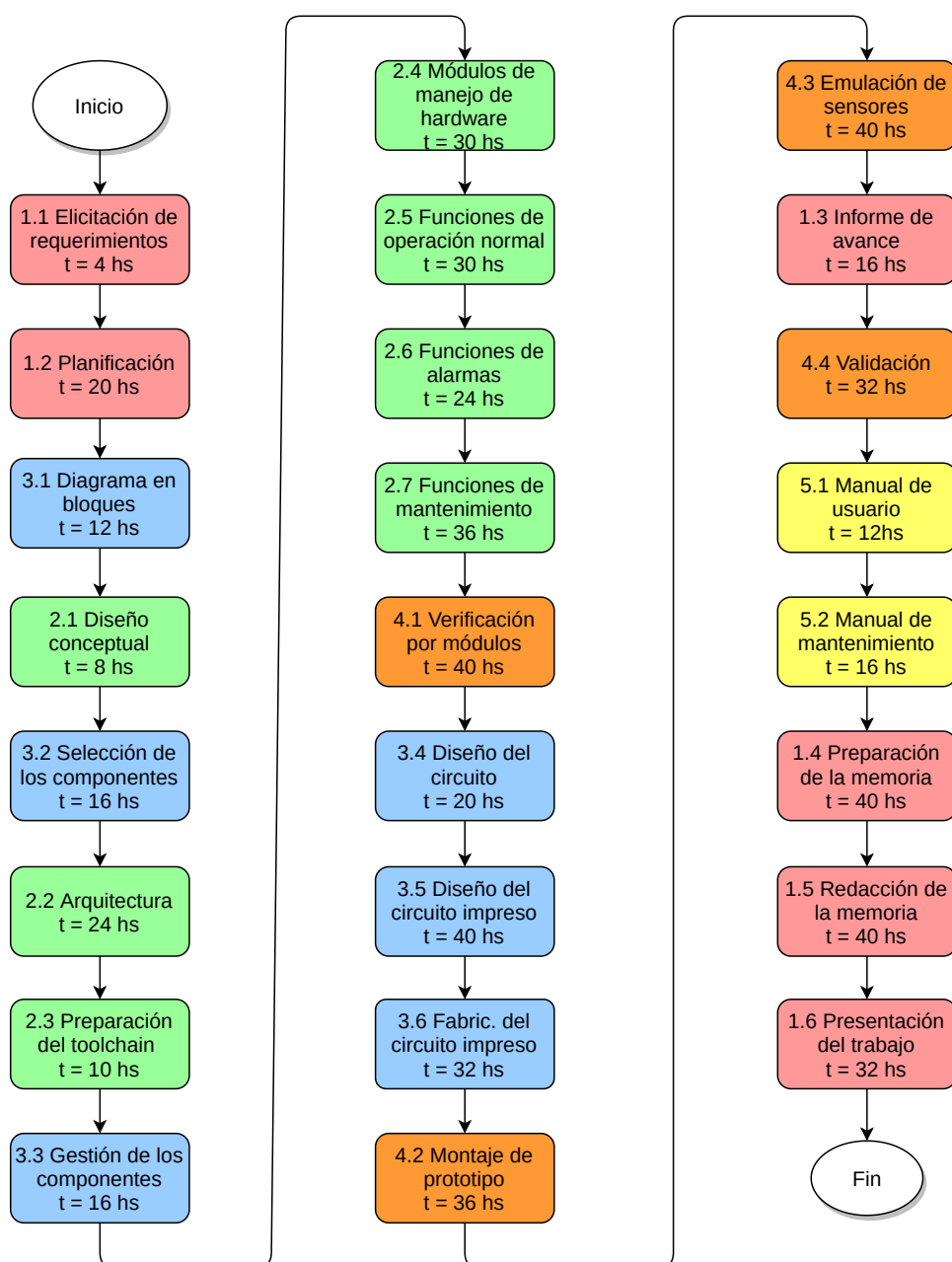


Figura 2. Diagrama en *Activity on Node*

## 11. Diagrama de Gantt

Para la elaboración del diagrama de Gantt se consideró una dedicación diaria de 3 horas, de lunes a viernes.

Se utilizó el programa gratuito GanttProject, que solo permite la utilización de días como unidad de tiempo. por lo que se pueden observar algunas diferencias de redondeo en el diagrama.

La planificación se presenta en dos partes para mayor claridad.

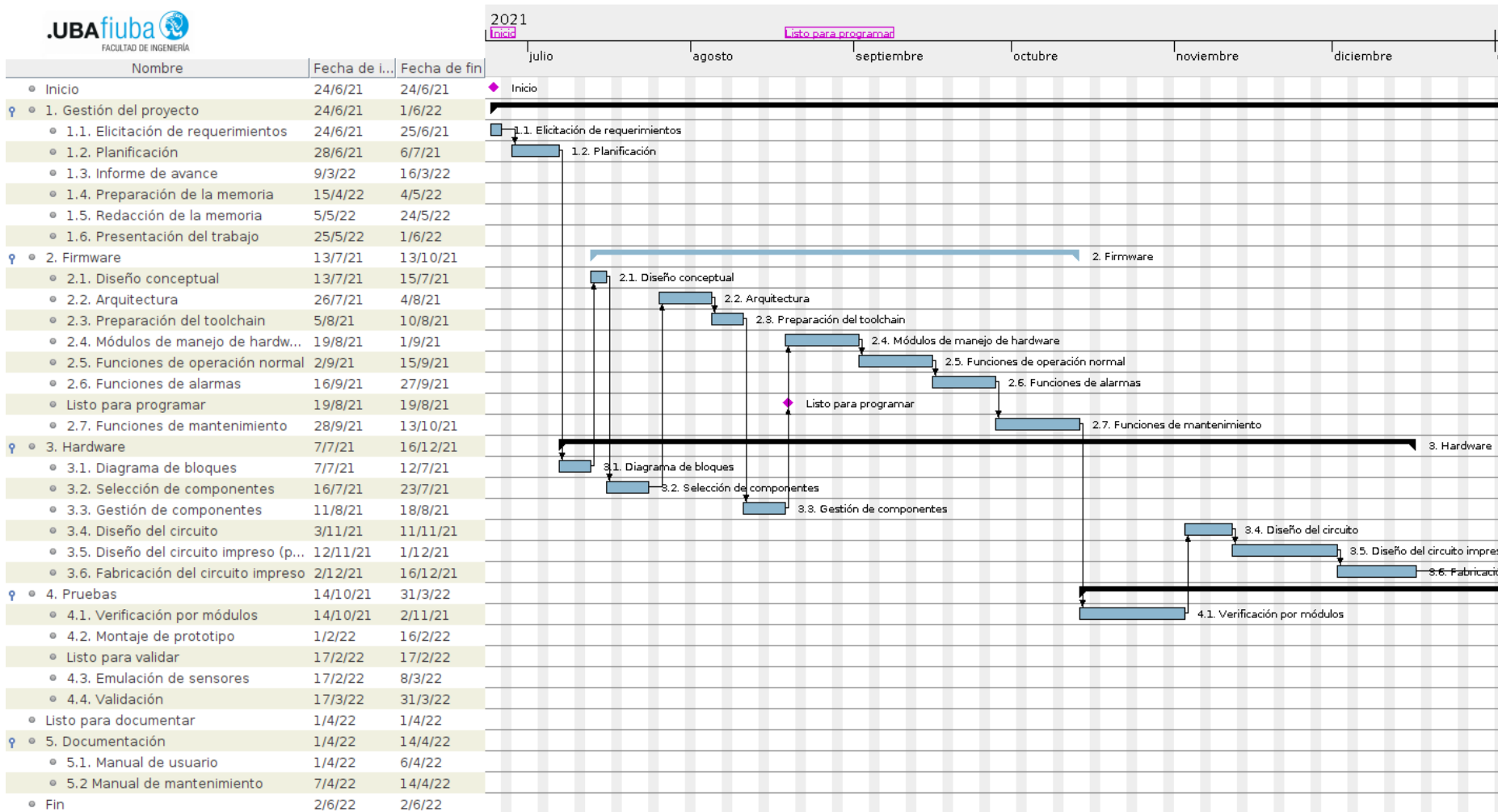


Figura 3. SMTB - Diagrama de Gantt (parte 1 de 2)

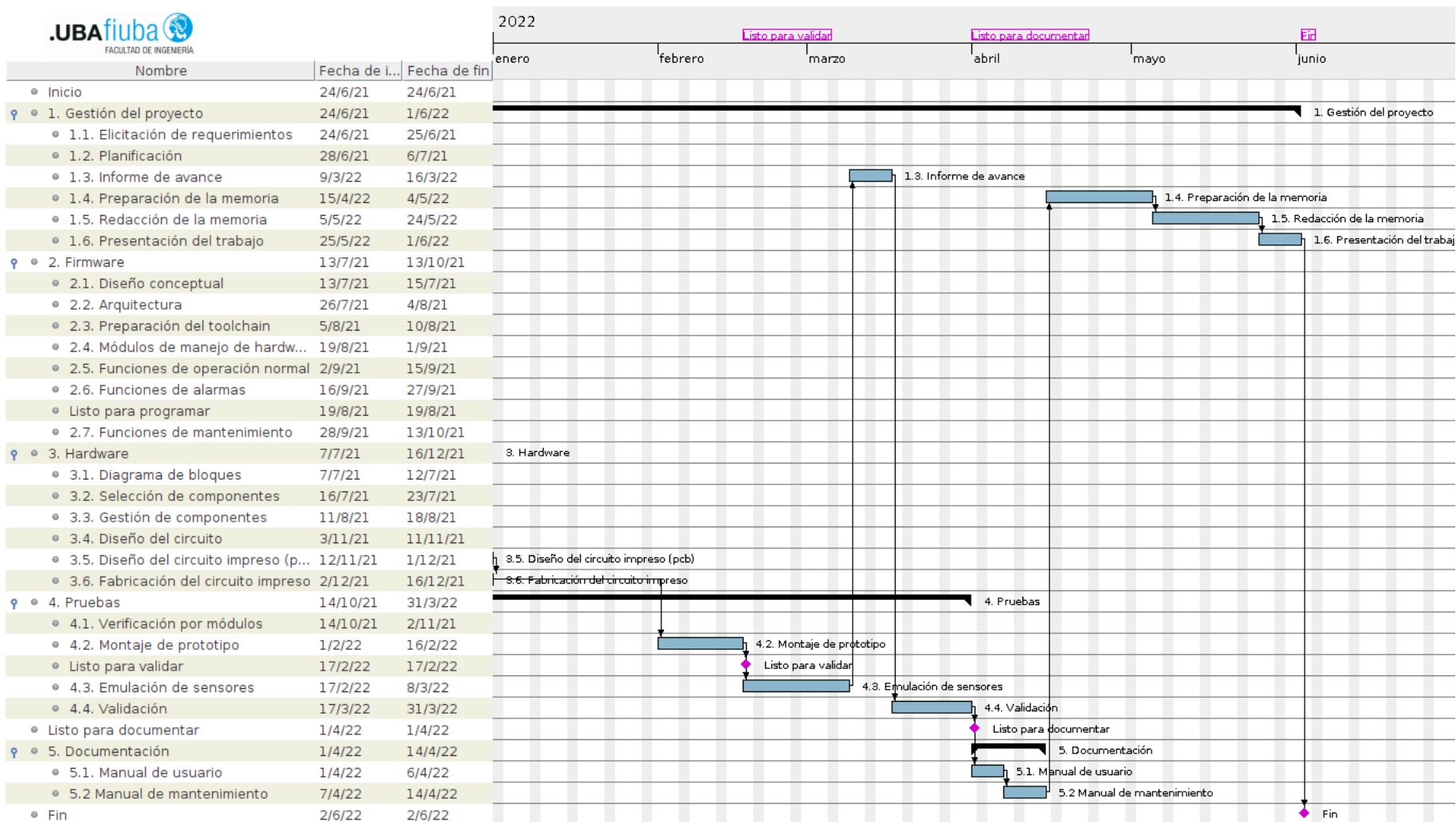


Figura 4. SMTB - Diagrama de Gantt (parte 2 de 2)



## 12. Presupuesto detallado del proyecto

Para el cálculo del presupuesto se estimo el valor global de los costos indirectos en un 40 % de los costos directos.

COSTOS DIRECTOS			
Materiales			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
CIAA-NXP	2	\$ 45.000	\$ 90.000
Sensor con vaina, conector y cápsula	36	\$ 2.600	\$ 93.600
Gabinete de chapa plegada y máscara	2	\$ 7.500	\$ 15.000
PCB	1	\$ 20.000	\$ 20.000
Display	2	\$ 2.000	\$ 4.000
Componentes adicionales	1	\$ 10.000	\$ 10.000
SUBTOTAL			\$ 232.600
Mano de obra			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Ingeniería	542 hs	\$ 1.080	\$ 585.360
Otras tareas	84 hs	\$ 1.080	\$ 90.720
SUBTOTAL			\$ 676.080
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción			Valor total
Estimado global (40 % C.D.)			\$ 363.472
SUBTOTAL			\$ 363.472
TOTAL			\$ 1.272.152

## 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.