



# Dispositivo Conversor de Audio Digital-Analógico de Alta Fidelidad

Autor:  
Flavio Miravete

Director:  
Dr. Ing. Anibal Zanini (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 22 de agosto de 2023 y el 24 de octubre de 2023.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	6
3. Propósito del proyecto . . . . .	6
4. Alcance del proyecto . . . . .	6
5. Supuestos del proyecto. . . . .	7
6. Requerimientos . . . . .	7
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	8
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	10
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	10
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	11
11. Diagrama de Gantt . . . . .	12
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	22/08/2023
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	04/09/2023
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	11/09/2023

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 22 de agosto de 2023

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Flavio Miravete que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Dispositivo Conversor de Audio Digital-Analógico de Alta Fidelidad”, consistirá esencialmente en el desarrollo y la implementación de un prototipo de un dispositivo capaz de convertir diferentes formatos de audio digital en una señal analógica. Tendrá un presupuesto preliminar estimado de 669 hs de trabajo y USD 41.200, con fecha de inicio 22 de agosto de 2023 y fecha de presentación pública 2 de diciembre de 2024.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

CESE  
LSE - FIUBA

Dr. Ing. Anibal Zanini  
Director del Trabajo Final

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

Cualquier dispositivo que actúe como fuente de sonido digital como un reproductor de CD o Blu-ray, un TV digital, una consola de juegos, un teléfono móvil, un reproductor de música portátil o una computadora necesitará un DAC, ya sea integrado o conectado, para convertir su audio digital a analógico antes de ser amplificado y enviado a un parlante o auricular.

Los datos de audio digital se pueden almacenar en una variedad de frecuencias de muestreo, profundidades de bits, formatos de codificación y compresión, pero sin importar cómo se haga, el trabajo de un DAC es convertir a partir del formato binario la señal de audio en analógica intentando conservarla lo más parecida a la grabación de audio original.

En los últimos años han aparecido dispositivos DAC que se insertan en la cadena de audio de cualquier sistema de sonido HiFi en ambientes como producción musical, estudios de grabación, hogar y preferidos por el público audiófilo.

Por otra parte, hoy existe una amplia variedad de fuentes de audio digital disponibles, por ejemplo:

- Archivos con codificación sin pérdida (FLAC, WAV, AIFF, APE).
- Archivos con codificación con pérdida (AAC, MP3, WMA, OGG).
- Puerto S/PDIF.
- Puerto AES-EBU.
- Dispositivos Bluetooth (smartphones).
- Puertos con capacidad de leer otros formatos como PCM, DSD, MQA, DoP.

La codificación sin pérdidas permite desde los datos digitales decodificados reproducir la información exactamente igual a la original. La codificación con pérdidas aprovecha la característica del oído humano que enmascara frecuencias cercanas con distintas amplitudes. Esta información no es percibida por el oído, por lo tanto no se codifica.

Por las distintas fuentes enumeradas se detecta la necesidad de contar con un único dispositivo que pueda convertir varios de estos formatos en sonido analógico. Esto permitirá reducir el uso de múltiples equipos de interface para cada fuente de audio digital.

El objetivo de este proyecto es diseñar el hardware electrónico de un dispositivo DAC que pueda leer al menos 3 tipos de fuentes de audio digital, incluya un display alfanumérico o gráfico que permita visualizar la operación del dispositivo, cuente con botones de operación según lo que se especifique en su diseño y tenga una salida analógica para la señal de audio.

En la Figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema. Se observa un esquema lógico de los componentes y funciones mas importantes que podemos encontrar en un DAC. Luego, existen combinaciones entre las interfaces que comunmente se utilizan y los formatos de audio que se transfieren a través de ellas.

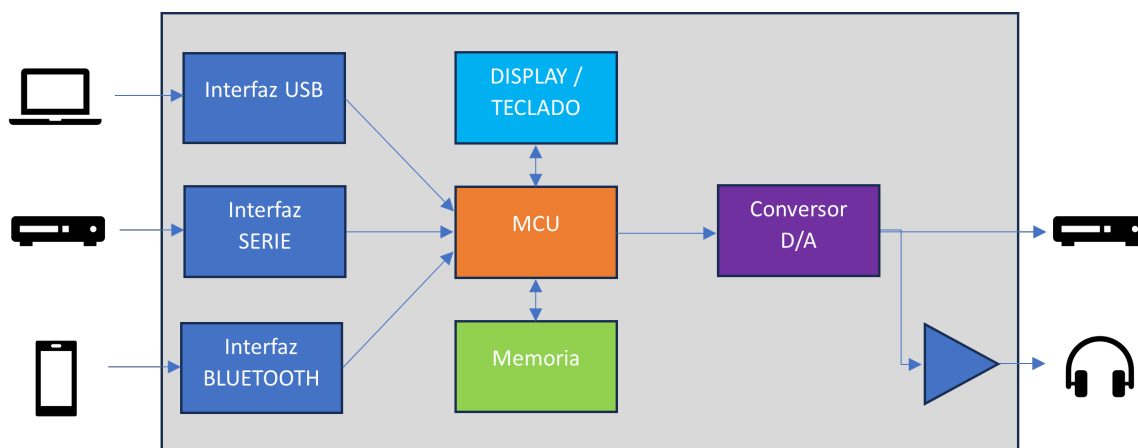


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Dr. Ing. Anibal Zanini	LSE - FIUBA	
Responsable	Flavio Miravete	FIUBA	Alumno
Orientador	Dr. Ing. Anibal Zanini	FIUBA	Director Trabajo final
Usuario final	Público general	-	-

- Responsable: es también el impulsor del proyecto. Posee conocimientos generales de audio y la viva intencion de fundar una empresa de productos de este rubro.
- Colaboradores: en este momento está abierta la búsqueda de colaboradores que podrán sumarse con el rol de codirector o como parte del equipo.
- Orientador: es una persona de muy extensa experiencia en el ámbito académico e industrial, entre varios temas de su dominio, es experto en temas de control automático y en procesamiento de señales digitales.
- Usuario final: es una persona entusiasta del audio o audiófilo.

## 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es proveer un producto que pueda insertarse dentro de un sistema de audio HiFi, permitiendo sumar fuentes de audio alternativas a las más populares como el reproductor de discos o la bandeja giradiscos.

Otro propósito es generar una base de conocimiento en tecnologías de procesamiento de audio digital y el desarrollo de procesos, procedimientos y experiencia local en la industria del audio.

## 4. Alcance del proyecto

Se define el siguiente alcance para el proyecto:

- Diseño y fabricación de un prototipo del hardware electrónico del producto.
- Inclusión de una interface USB para la lectura o recepción de audio digital.
- Inclusión de una interface serie para la recepción de audio digital por el protocolo SPDIF.
- Inclusión de una interface Bluetooth para la recepción de audio.
- inclusión de un display y teclas de operación.
- Desarrollo del firmware para la operación y manejo de un formato digital por interface.
- Documentación de los procesos de desarrollo y software.
- Diseño y desarrollo de las pruebas.

Quedan fuera del alcance los siguientes items:

- Desarrollo de firmware para el manejo de formatos de audio digital con pérdidas (codificación/decodificación perceptiva).
- Diseños mecánicos del dispositivo (gabinetes o envolturas).

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se cuenta con la información teórica mínima y necesaria referida a los protocolos y formatos de audio digital.
- Se tiene acceso a instrumentos y herramientas para el desarrollo del producto (kit de desarrollos, osciloscopios, analizadores, etc.).
- Se cuenta con un mínimo de dedicación de 10 horas semanales para el proyecto.
- Se tiene disponibilidad de todos los componentes electrónicos que resulten del diseño.
- Se realizarán las compras en proveedores locales siempre que sea posible.

## 6. Requerimientos

Los requerimientos a considerar para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

1. Requerimientos de interfaces digitales.
  - 1.1. El dispositivo debe contar con una entrada digital USB 2.0 tipo B.
  - 1.2. El dispositivo debe contar con una entrada digital S/PDIF con conexión coaxil. Como alternativa deseable puede agregarse a la conexión coaxil una conexión óptica (TOSLINK).

- 1.3. El dispositivo debe contar con una conexión Bluetooth con capacidad para recibir un stream de audio.
2. Requerimientos de los formatos de audio.
  - 2.1. El dispositivo debe procesar un stream de audio en formato PCM (Pulse Code Modulation) a 44,1/48/88,2/96 KHz.
  - 2.2. El dispositivo debe procesar un stream de audio en formato DSD (Direct Stream Digital) a 2,8/3,1/5,6 MHz.
  - 2.3. El dispositivo debe procesar al menos los siguientes formatos sobre Bluetooth: SBC, AAC, aptX.
3. Requerimientos de operación.
  - 3.1. El dispositivo debe permitir la selección entre las 3 interfaces de audio disponibles por medio de un pulsador.
  - 3.2. La interface seleccionada, el formato que se esté reproduciendo y sus características deben ser indicados a través de un display alfanumérico.
  - 3.3. El dispositivo debe contar con una perilla rotativa para control de volumen.
  - 3.4. El display alfanumérico debe indicar el estado y progreso del proceso de apareamiento de un dispositivo Bluetooth.
4. Requerimientos de alimentación y otros.
  - 4.1. El dispositivo debe contar con una entrada para alimentación de 5 VDC.
  - 4.2. El dispositivo debe contar con una salida analógica stereo, no balanceada y de amplitud máxima 2 Vpp.
5. Requerimientos del prototipo.
  - 5.1. El prototipo debe ser modular (es aceptable un módulo por interface).
  - 5.2. Los módulos pueden ser circuitos impresos de diseño propio o comerciales.
6. Requerimientos de documentación y registro.
  - 6.1. Todos los desarrollos de hardware y firmware deben estar guardados en un repositorio y bajo control de versión.
  - 6.2. Debe desarrollarse una memoria técnica del prototipo.
  - 6.3. Debe desarrollarse un informe de avance.
  - 6.4. Deben documentarse todas las pruebas técnicas diseñadas y sus conclusiones.

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

A continuación se enumeran las historias de usuarios identificadas. Para poder medir el tamaño de cada historia se ha realizado una ponderación numérica con base en la serie de Fibonacci 0, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, .... Los criterios y las ponderaciones consideradas son las siguientes:

1. Dificultad del trabajo a realizar.
  - BAJO = 1



- MEDIO = 5
- ALTO = 13

2. Complejidad del trabajo a realizar.

- BAJO = 2
- MEDIO = 5
- ALTO = 13

3. Riesgo del trabajo a realizar.

- BAJO = 1
- MEDIO = 3
- ALTO = 8

Luego, cada historia de usuario obtiene un puntaje (Story Points) que resulta de aproximar la suma de su dificultad, su complejidad y su riesgo al número mas cercano de la serie de Fibonacci.

Historias de usuarios:

- Como amante de la música en alta calidad deseo conectar mi computadora con mi sistema de audio HiFi para escuchar mis canciones favoritas que guardo en alta resolución.
  - Dificultad: 5
  - Complejidad: 13
  - Riesgo: 3
  - Suma: 21 – **Story Points: 21**
- Como consumidor de plataformas de música por streaming quiero reproducir mis canciones desde el teléfono para escucharlas en mi sistema de audio HiFi.
  - Dificultad: 13
  - Complejidad: 13
  - Riesgo: 3
  - Suma: 29 – **Story Points: 34**
- Como entusiasta de las películas y los recitales deseo conectar el audio de mi televisor a mi sistema de sonido HiFi para experimentar el ambiente de una sala de cine.
  - Dificultad: 5
  - Complejidad: 5
  - Riesgo: 3
  - Suma: 13 – **Story Points: 13**
- Como audiófilo, al reproducir audio digital me interesa conocer la profundidad de bits y la frecuencia de muestreo de la música que estoy escuchando para poder comparar y entrenar mi percepción musical.
  - Dificultad: 1
  - Complejidad: 2

- Riesgo: 1
- Suma: 4 – **Story Points: 5**
- Como sonidista profesional quiero escuchar las mezclas y ediciones que elaboro en mi estudio para evaluar y corregir mi producción musical.
  - Dificultad: 8
  - Complejidad: 13
  - Riesgo: 8
  - Suma: 29 – **Story Points: 34**

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Manual de uso.
- Diagrama de circuitos esquemáticos.
- Código fuente del firmware.
- Prototipo funcional (hardware).
- Informe de avance.
- Informe final.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

Se observa a continuación el desglose de tareas del proyecto (WBS, Work Breakdown Structure):

1. Gestión y documentación del proyecto (102 hs).
  - 1.1. Realización del plan de proyecto (10 hs).
  - 1.2. Control de avance (6 hs).
  - 1.3. Documentación del informe de avance (10 hs).
  - 1.4. Documentación de la memoria técnica (60 hs).
  - 1.5. Documentación de las pruebas (16 hs).
2. Búsqueda de información y adquisiciones (68 hs).
  - 2.1. Recopilación de información de mercado (10 hs).
  - 2.2. Recopilación de información teórica, normas, documentos y librerías de las interfaces digitales (20 hs).
  - 2.3. Recopilación de información teórica, normas, documentos y librerías de los formatos de audio considerados (20 hs).

- 2.4. Búsqueda y selección de los componentes hardware, módulos y/o placas de evaluación (12 hs).
- 2.5. Adquisición del hardware seleccionado (6 hs).
3. Desarrollo del prototipo (199 hs).
  - 3.1. Diseño del circuito esquemático para interfaces USB y S/PDIF (20 hs).
  - 3.2. Diseño del circuito esquemático para interface Bluetooth (30 hs).
  - 3.3. Diseño del circuito esquemático para display, pulsadores y otros (15 hs).
  - 3.4. Validaciones y simulaciones (20 hs).
  - 3.5. Diseño del PCB de las interfaces (40 hs).
  - 3.6. Diseño del PCB para el display y otros componentes (20 hs).
  - 3.7. Compra de componentes y módulos (4 hs).
  - 3.8. Fabricación de PCBs (20 hs).
  - 3.9. Armado de PCBs (10 hs).
  - 3.10. Desarrollo de firmware de prueba (10 hs).
  - 3.11. Ejecución de pruebas (10 hs).
4. Desarrollo del firmware (230 hs).
  - 4.1. Diseño de la estructura del programa, módulos y máquinas de estado generales (40 hs).
  - 4.2. Desarrollo detallado del firmware para interfaces USB y S/PDIF (40 hs).
  - 4.3. Desarrollo detallado del firmware para interfaces Bluetooth (40 hs).
  - 4.4. Desarrollo detallado del firmware para display y operación (40 hs).
  - 4.5. Diseño y desarrollo detallado de módulos y funciones para manejo de formatos de audio (40 hs).
  - 4.6. Diseño y desarrollo detallado de funciones auxiliares y de depuración (30 hs)
5. Verificación y validación (70 hs).
  - 5.1. Diseño y ejecución de pruebas unitarias (30 hs).
  - 5.2. Diseño y ejecución de pruebas integrales (40 hs).

Cantidad total de horas: (669 hs).

## 10. Diagrama de Activity On Node

Armar el AoN a partir del WBS definido en la etapa anterior.

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semicríticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color, como se muestra en el siguiente ejemplo:



Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

## 11. Diagrama de Gantt

Existen muchos programas y recursos *online* para hacer diagramas de Gantt, entre los cuales destacamos:

- Planner
- GanttProject
- Trello + *plugins*. En el siguiente link hay un tutorial oficial:  
<https://blog.trello.com/es/diagrama-de-gantt-de-un-proyecto>
- Creately, herramienta online colaborativa.  
<https://creately.com/diagram/example/ieb3p3ml/LaTeX>
- Se puede hacer en latex con el paquete *pgfgantt*  
<http://ctan.dcc.uchile.cl/graphics/pgf/contrib/pgfgantt/pgfgantt.pdf>

Pegar acá una captura de pantalla del diagrama de Gantt, cuidando que la letra sea suficientemente grande como para ser legible. Si el diagrama queda demasiado ancho, se puede pegar primero la “tabla” del Gantt y luego pegar la parte del diagrama de barras del diagrama de Gantt.

Configurar el software para que en la parte de la tabla muestre los códigos del EDT (WBS).  
Configurar el software para que al lado de cada barra muestre el nombre de cada tarea.  
Revisar que la fecha de finalización coincida con lo indicado en el Acta Constitutiva.

En la figura 3, se muestra un ejemplo de diagrama de Gantt realizado con el paquete de *pgfgantt*. En la plantilla pueden ver el código que lo genera y usarlo de base para construir el propio.

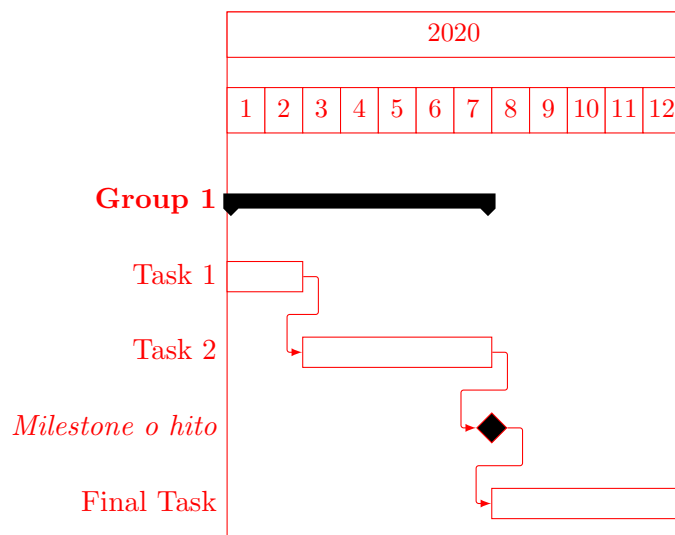


Figura 3. Diagrama de Gantt de ejemplo

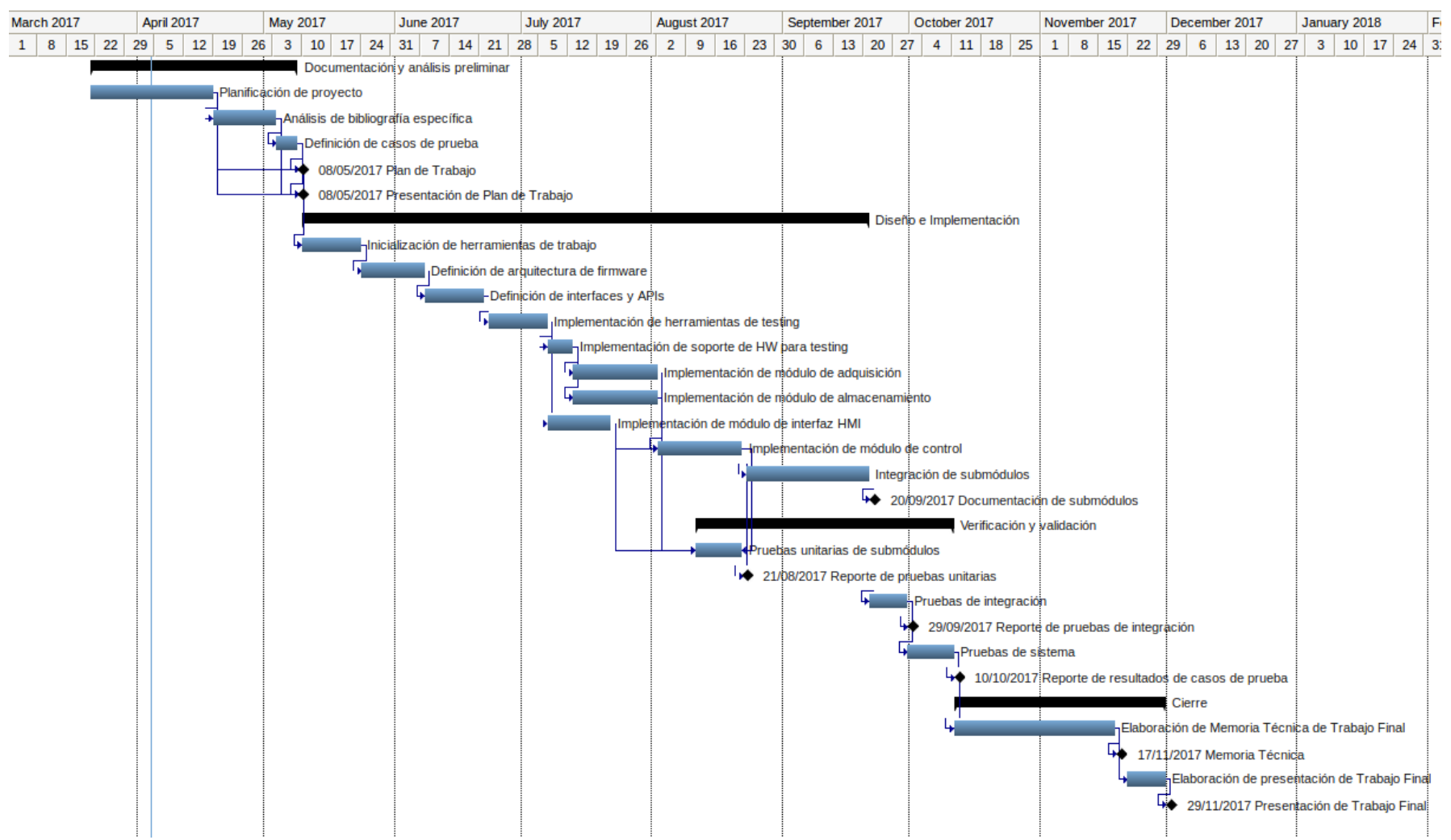


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt rotado

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

Si el proyecto es complejo entonces separarlo en partes:

- Un total global, indicando el subtotal acumulado por cada una de las áreas.
- El desglose detallado del subtotal de cada una de las áreas.

**IMPORTANTE:** No olvidarse de considerar los **COSTOS INDIRECTOS**.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
TOTAL			

## 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

Elija al menos diez requerimientos que a su criterio sean los más importantes/críticos/que aportan más valor y para cada uno de ellos indique las acciones de verificación y validación que permitan asegurar su cumplimiento.

- 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.