



# Diseño e implementación de un prototipo de dron de código abierto

Autor:

Ing. Daniel David Albarracin

Director:

Ing. Juan Manuel Cruz (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 20 de agosto de 2024 y el 8 de octubre de 2024.*

## 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 . . . . .	7
5. Supuestos del proyecto. . . . .	8
6. Requerimientos . . . . .	9
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	10
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	10
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	11
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	12
11. Diagrama de Gantt . . . . .	12
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	16
13. Gestión de riesgos . . . . .	16
14. Gestión de la calidad . . . . .	17
15. Procesos de cierre . . . . .	18

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de agosto de 2024
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	3 de septiembre de 2024
1.1	Correcciones hasta el punto 5	10 de septiembre de 2024
2	Correcciones hasta el punto 5. Se completa hasta el punto 9 inclusive	15 de septiembre de 2024

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de agosto de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Daniel David Albarracin que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Diseño e implementación de un prototipo de dron de código abierto” y consistirá en la implementación de un prototipo experimental de un dron de bajo coste. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 664 horas y un costo estimado de \$ 330.000, con fecha de inicio el 20 de agosto de 2024 y fecha de presentación pública el 31 de junio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Comite evaluador  
CESE - FIUBA

Ing. Juan Manuel Cruz  
Director del Trabajo Final

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

La actualidad ha popularizado el uso y desarrollo de la industria de los drones debido a su versatilidad en amplios ámbitos de aplicación. Su uso puede hallarse en campos de investigación, agricultura, seguridad, adquisición de imágenes, militar e incluso recreativo, por solo enumerar algunos campos.

El presente trabajo, de carácter personal, desarrolla un prototipo de drone experimental de bajo costo con componentes disponibles en el mercado.

El desarrollo de un modelo prototipo de un drone permite la puesta en marcha, verificación y realización de pruebas de las partes funcionales resguardando la integridad del producto.

El sistema embebido a desarrollar permitirá realizar la función de controlador de vuelo (FC por sus siglas en inglés). El FC basado en un microcontrolador debe ser el punto central de comunicación entre todos los elementos de entrada y salida. En tal sentido y en base a la placa Núcleo STM32F4 funcionando como FC, se desarrollarán las interfaces de hardware y software para lograr la interacción con los componentes mínimos necesarios para un disponer de drone funcional.

El mercado de los drones abunda en ofertas de distinta calidad, orientadas principalmente a uso recreativo y a uso profesional. En el primer grupo se encuentran drones de bajo costo y baja calidad, mientras que en el otro segmento las soluciones son cerradas y de precio prohibitivo.

El presente proyecto intenta solventar una doble necesidad: por un lado disponer de un drone funcional a precio asequible y por otro, dar acceso a la información en forma detallada de su desarrollo para ser modificado, editado y copiado sin fines de lucro.

En la figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema.

Se observa que el FC es el punto de interconexión entre las entradas (IMU, GPS, UltraSonido, barómetro y Rx) y las salidas (Brushless Engine y Telemetría).

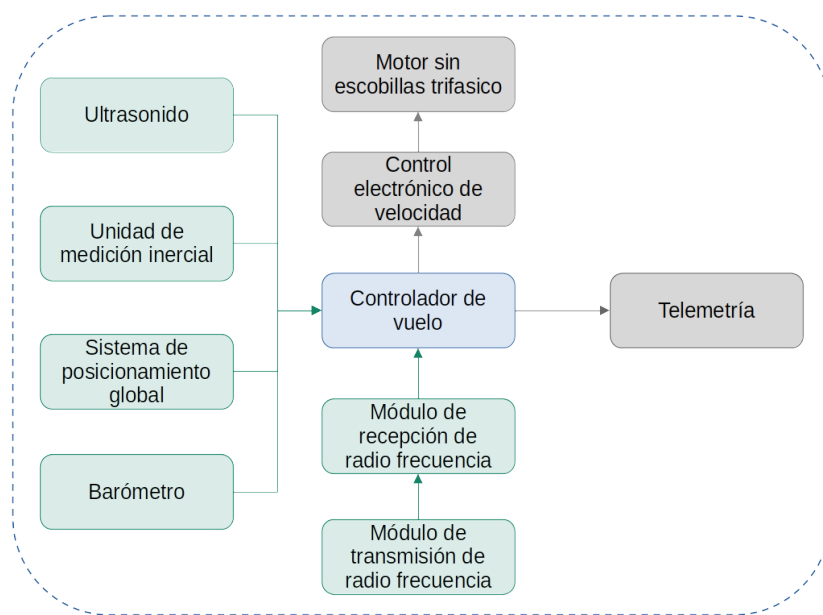


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Comite evaluador	CESE - FIUBA	Jurado
Responsable	Ing. Daniel David Albarracin	FIUBA	Alumno
Orientador	Ing. Juan Manuel Cruz	FIUBA	Director del Trabajo Final
Usuario final	Aficionados	Publico en general	

- Cliente: a definir.
- Director: el Ing. Juan Manuel Cruz es un referente en el area de desarrollo de software implementando soluciones con sistemas operativos de tiempo real. Será quien brindará su experiencia y visión crítica en la modularizacion e interconexión del software.
- Usuario final: todo aficionado a la electrónica, el desarrollo de software y en específico, el campo de uso de drones que desee hacer uso del proyecto.

## 3. Propósito del proyecto

Disponibilizar de forma libre la documentación, código y detalles de implementación y explicación teórica de un dron funcional basado en el microcontrolador STM32F4 y periféricos asociados.

#### 4. Alcance del proyecto

A continuación se listan los alcances del proyecto en lo concerniente al desarrollo de software, hardware y documentación.

El proyecto incluye:

- Software.
  - Desarrollo del firmware para el control del motor sin escobillas trifásico.
  - Desarrollo del firmware para el módulo del sistemas de posicionamiento global (GPS).
  - Desarrollo del firmware para el control de la tarjeta SD.
  - Desarrollo del firmware para el control de la unidad de medición inercial (IMU).
  - Desarrollo del firmware para el control del sensor de de ultrasonido.
  - Desarrollo del firmware para el control del sensor de presión.
  - Desarrollo del firmware para el control del módulo de control de velocidad.
  - Desarrollo del firmware para el control del módulo de distribución de potencia.
  - Desarrollo del firmware para el control del módulo de transmisión de radio frecuencia (Rx RF).
  - Desarrollo integral sobre un sistema de tiempo real (FreeRTOS) sobre la controladora de vuelo.
- Hardware.
  - Un motor sin escobillas trifásico (a definir).
  - Un módulo de posicionamiento global modelo GPS-NEO-6m del fabricante U-blox.
  - Un módulo interfaz con tarjeta SD de tipo genérico a definir.
  - Un sensor para la detección de ondas de ultrasonido de tipo genérico a definir.
  - Un unidad de medición inercial modelo MPU9250 del fabricante a definir
  - Un sensor de medición de presión barométrica modelo BMP280 del fabricante Bosch.
  - Un módulo receptor de radio frecuencia modelo FS-IA6R del fabricante FLYSKY (a definir).
  - Un módulo transmisor de radio frecuencia modelo FS-I6x del fabricante FLYSKY (a definir).
  - Desarrollo de un circuito impreso prototipo para el módulo control electrónico de de velocidad.
  - Desarrollo de un circuito impreso prototipo para el módulo de control de distribución de potencia.
  - Una batería de tipo Litio Polimero (LiPo)(cantidad de celdas, amperaje y voltaje a definir).
- Documentación.
  - Documentación teórica y de implementación sobre el módulo de posicionamiento global.
  - Documentación teórica y de implementación sobre el control del motor sin escobillas trifásico y sobre el modulo de control de velocidad.

- Documentación teórica y de implementación sobre la unidad de medición inercial.
- Documentación teórica y de implementación sobre el control de sensor de presión barométrica.
- Documentación teórica y de implementación sobre el módulo de transmisión de radio frecuencia.
- Esquemáticos del desarrollo de PCB para control electrónico de velocidad.
- Esquemáticos del desarrollo de PCB para control de distribución de potencia.
- Documentación de integración.

El proyecto no incluye:

- General.
  - Chasis mecánico de soporte.
  - Pruebas en vuelo.
  - Transmisión de video.
  - No transmitirá datos al receptor.
  - No se realizarán pruebas de compatibilidad electromagnética.
- Software.
  - Compatibilidad con diferentes tipos de módulos y fabricantes.
  - Compatibilidad con protocolos no desarrollados en el proyecto.
  - Portación a otro sistema de tiempo real.
  - Portación a otro microcontrolador.
- Hardware.
  - Desarrollo comercial de circuito impreso para el módulo de control electrónico de velocidad.
  - Desarrollo comercial de circuito impreso para el módulo de distribución de potencia.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se realizan los siguientes supuestos:

- Realización de análisis de características y alternativas de componentes.
- Los módulos y elementos electrónicos serán adquiridos en el mercado local.
- Se contará con la orientación técnica de un director para el desarrollo de los distintos componentes del software.
- Se contará con la orientación técnica de un colaborador para el desarrollo de hardware (a definir).
- Se dispondrá de los medios económicos para la adquisición de los componentes y módulos electrónicos.
- Se dispondrá de una carga horaria media de dedicación exclusiva al desarrollo del proyecto de 16 h semanales.



## 6. Requerimientos

Los requerimientos del proyecto se listan a continuación.

### 1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. El sistema debe operar íntegramente demostrando la funcionalidad de un dron prototipo.
- 1.2. Tanto el transmisor como el receptor de radio frecuencia deben operar en una banda de frecuencia habilitada para uso ciudadano.
- 1.3. El usuario final debe poder replicar el proyecto siguiendo la documentación publicada en el repositorio del proyecto.

### 2. Requerimientos de software:

- 2.1. El firmware desarrollado para cada componente de hardware del proyecto brindará una API para su utilización.
- 2.2. El sistema operativo debe ser de tiempo real.
- 2.3. El sistema operativo debe comandar la interoperabilidad con los diferentes componentes de hardware.
- 2.4. El sistema operativo debe tener un esquema de prioridades y manejo de interrupciones.

### 3. Requerimiento de testing:

- 3.1. El firmware para el control de cada componente de hardware será testeado acorde a la API desarrollada para su operabilidad.

### 4. Requerimiento de hardware:

- 4.1. El microcontrolador debe soportar un sistema operativo en tiempo real.
- 4.2. El módulo para el control electrónico de velocidad debe poder operar en los rangos de potencia exigido por el motor sin escobillas trifásico.
- 4.3. El módulo para la distribución de potencia debe soportar picos de corriente a necesidad y al mismo tiempo protección de los componentes conectados.
- 4.4. El módulo controlador de vuelo desarrollado sobre la placa de desarrollo Nucleo SMT32F4 debe brindar interoperabilidad con los siguientes elementos de hardware:
  - 1) Un motor sin escobillas trifásico.
  - 2) Un módulo de posicionamiento global.
  - 3) Un módulo sensor de ultrasonido.
  - 4) Un módulo sensor de presión barométrica.
  - 5) Una unidad de medición inercial.
  - 6) Un módulo transmisor de radio frecuencia.
  - 7) Un módulo para resguardo en tarjeta SD.
  - 8) Un módulo para control de velocidad del motor.
  - 9) Un módulo para el control de potencia del sistema.

### 5. Requerimientos de documentación:

- 5.1. El código fuente deberá estar publicado en un repositorio de *Github*.

- 5.2. El código fuente deberá estar documentado.
- 5.3. La documentación tanto del código fuente como los detalles de implementación será subido al repositorio del proyecto.
- 5.4. Los esquemáticos de los circuitos impresos serán subidos al repositorio del proyecto.

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

A continuación se listan algunas historias de usuarios relacionadas a la necesidades del usuario final:

1. “Como aficionado quiero disponer de la información recolectada por el dron en una memoria SD para tener trazabilidad de su funcionamiento.”  
*Story points*: 13 (complejidad: 3, dificultad: 3, incertidumbre: 3)
2. “Como aficionado quiero disponer de la documentación necesaria para poder replicar el proyecto.”  
*Story points*: 8 (complejidad: 3, dificultad: 3, incertidumbre: 2)
3. “Como aficionado quiero disponer del código fuente utilizado en el desarrollo del proyecto para poder modificarlo.”  
*Story points*: 5 (complejidad: 1, dificultad: 3, incertidumbre: 1)
4. “Como aficionado quiero disponer de los esquemáticos del diseño de los circuitos impresos para poder adaptarlos a mis necesidades.”  
*Story points*: 5 (complejidad: 3, dificultad: 1, incertidumbre: 1)
5. “Como aficionado quiero que el dron tenga detección de colisiones para evitar que se dañe.”  
*Story points*: 3 (complejidad: 1, dificultad: 1, incertidumbre: 1)

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Manual de usuario.
- Manual de desarrollo de firmware.
- Diagrama de circuitos esquemáticos.
- Código fuente del firmware.
- Diagrama de instalación.
- Memoria del trabajo final.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Gestión del proyecto. (35 h)
  - 1.1. Planificación del proyecto. (10 h)
  - 1.2. Documentar la planificación y gestión del proyecto. (10 h)
  - 1.3. Comunicar los avances del proyecto. (10 h)
  - 1.4. Revisión y control de los avances del proyecto. (5 h)
2. Investigación sobre drones. (40 h)
  - 2.1. Investigación y selección de componentes. (10 h)
  - 2.2. Investigación sobre sistemas de posicionamiento global. (10 h)
  - 2.3. Investigación sobre motores trifásicos. (10 h)
  - 2.4. Investigación sobre unidad de medición inercial (10 h)
3. Desarrollo de software. (240 h)
  - 3.1. Desarrollo del firmware para el control del módulo de posicionamiento global. (30 h)
  - 3.2. Desarrollo del firmware para el control del sensor de presión barométrica. (30 h)
  - 3.3. Desarrollo del firmware para el control de la unidad de medición inercial. (30 h)
  - 3.4. Desarrollo del firmware para el control del sensor de ultrasonido. (30 h)
  - 3.5. Desarrollo del firmware para el control del módulo de recepción de radiofrecuencia. (30 h)
  - 3.6. Desarrollo del firmware para el control del módulo de resguardo en tarjeta SD. (30 h)
  - 3.7. Desarrollo del firmware para el control del módulo de control electrónico de velocidad. (30 h)
  - 3.8. Desarrollo del firmware para el control del módulo de distribución de potencia. (30 h)
4. Desarrollo de hardware (90 h)
  - 4.1. Desarrollo de un circuito impreso prototipo para el módulo control electrónico de de velocidad. (45 h)
  - 4.2. Desarrollo de un circuito impreso prototipo para el módulo de control de distribución de potencia. (45 h)
5. Pruebas funcionales. (60 h)
  - 5.1. Pruebas de testeo sobre los firmware desarrollados. (20 h)
  - 5.2. Pruebas de testeo sobre el hardware desarrollado. (20 h)
  - 5.3. Pruebas integrales. (20 h)
6. Documentación. (105 h)
  - 6.1. Redacción del documento sobre la implementación del módulo de posicionamiento global. (15 h)
  - 6.2. Redacción del documento sobre la implementación del módulo de detección por ultrasonido. (15 h)

- 6.3. Redacción del documento sobre la implementación del módulo del sensor de presión barométrica. (15 h)
- 6.4. Redacción del documento sobre la implementación del módulo de medición inercial. (15 h)
- 6.5. Redacción del documento sobre la implementación del módulo de control electrónico de velocidad. (15 h)
- 6.6. Redacción del documento sobre la implementación del módulo distribución de potencia. (15 h)
- 6.7. Redacción del documento sobre la implementación del módulo de resguardo de telemetría. (15 h)
- 7. Cierre del proyecto. (94 h)
  - 7.1. Gestión del proceso de cierre del proyecto. (10 h)
  - 7.2. Elaboración del informe final. (60 h)
  - 7.3. Elaboración de la presentación. (20 h)
  - 7.4. Presentación del informe final. (4 h)

Cantidad total de horas: 664.

## 10. Diagrama de Activity On Node

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

Una herramienta simple para desarrollar los diagramas es el Draw.io (<https://app.diagrams.net/>). Draw.io

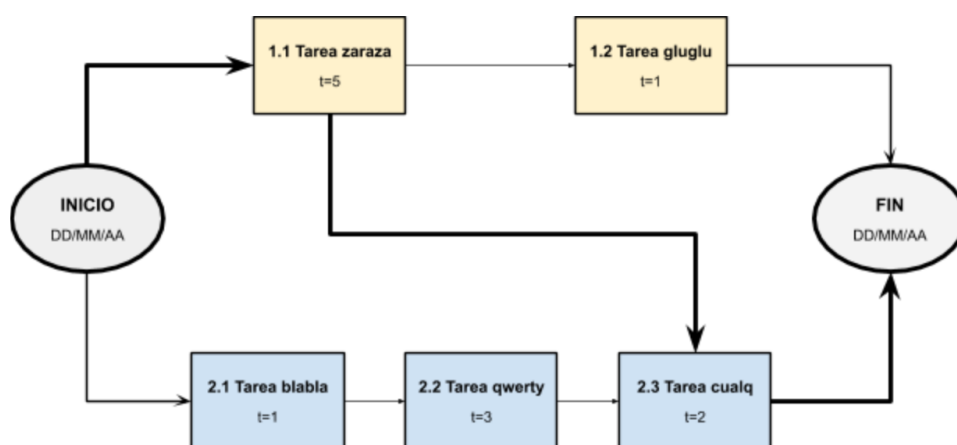


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semi críticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color.

## 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.

Las fechas pueden ser calculadas utilizando alguna de las herramientas antes citadas. Sin embargo, el siguiente ejemplo fue elaborado utilizando [esta hoja de cálculo](#).

Es importante destacar que el ancho del diagrama estará dado por la longitud del texto utilizado para las tareas (Ejemplo: tarea 1, tarea 2, etcétera) y el valor  $x$  *unit*. Para mejorar la apariencia del diagrama, es necesario ajustar este valor y, quizás, acortar los nombres de las tareas.

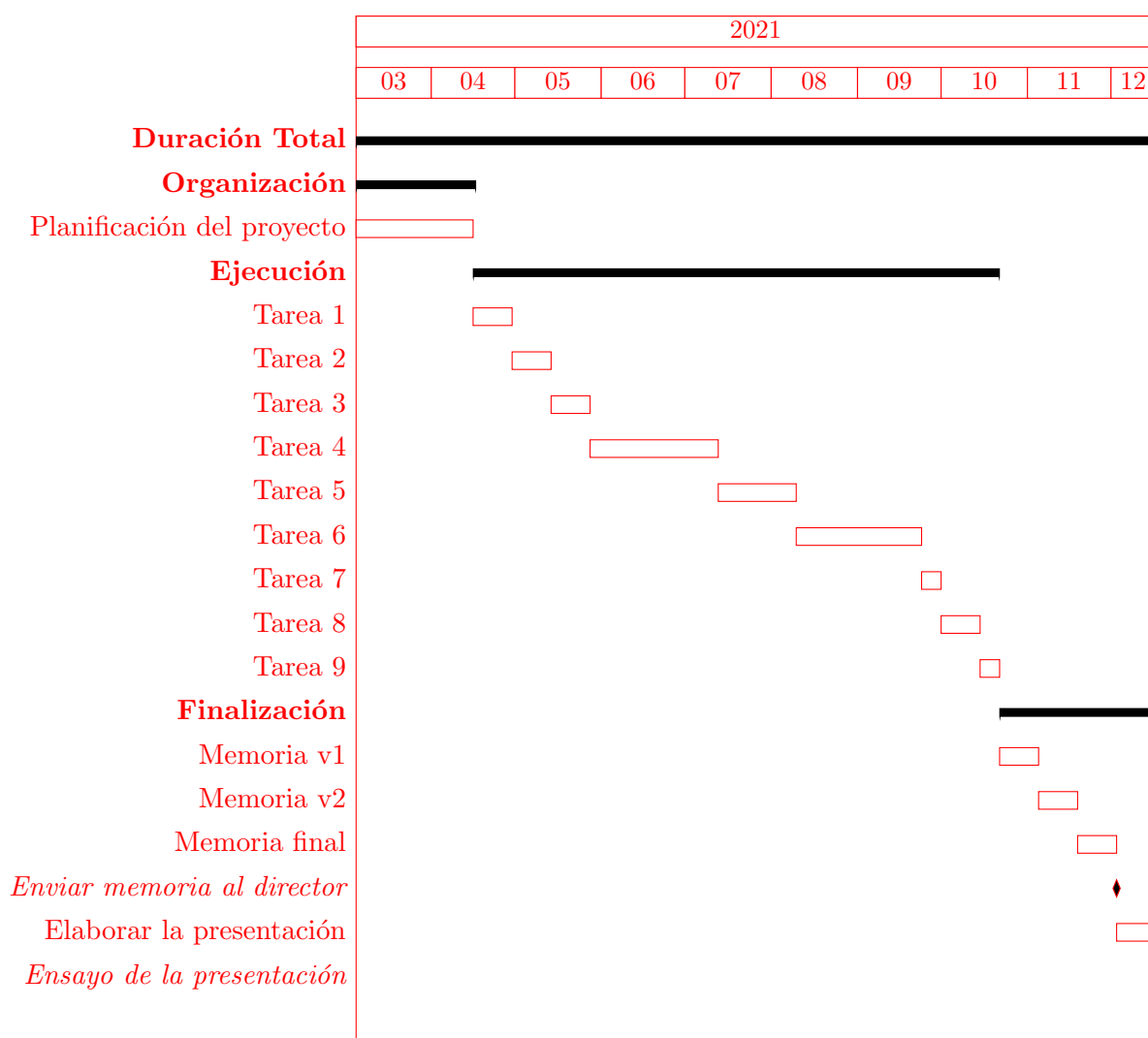


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

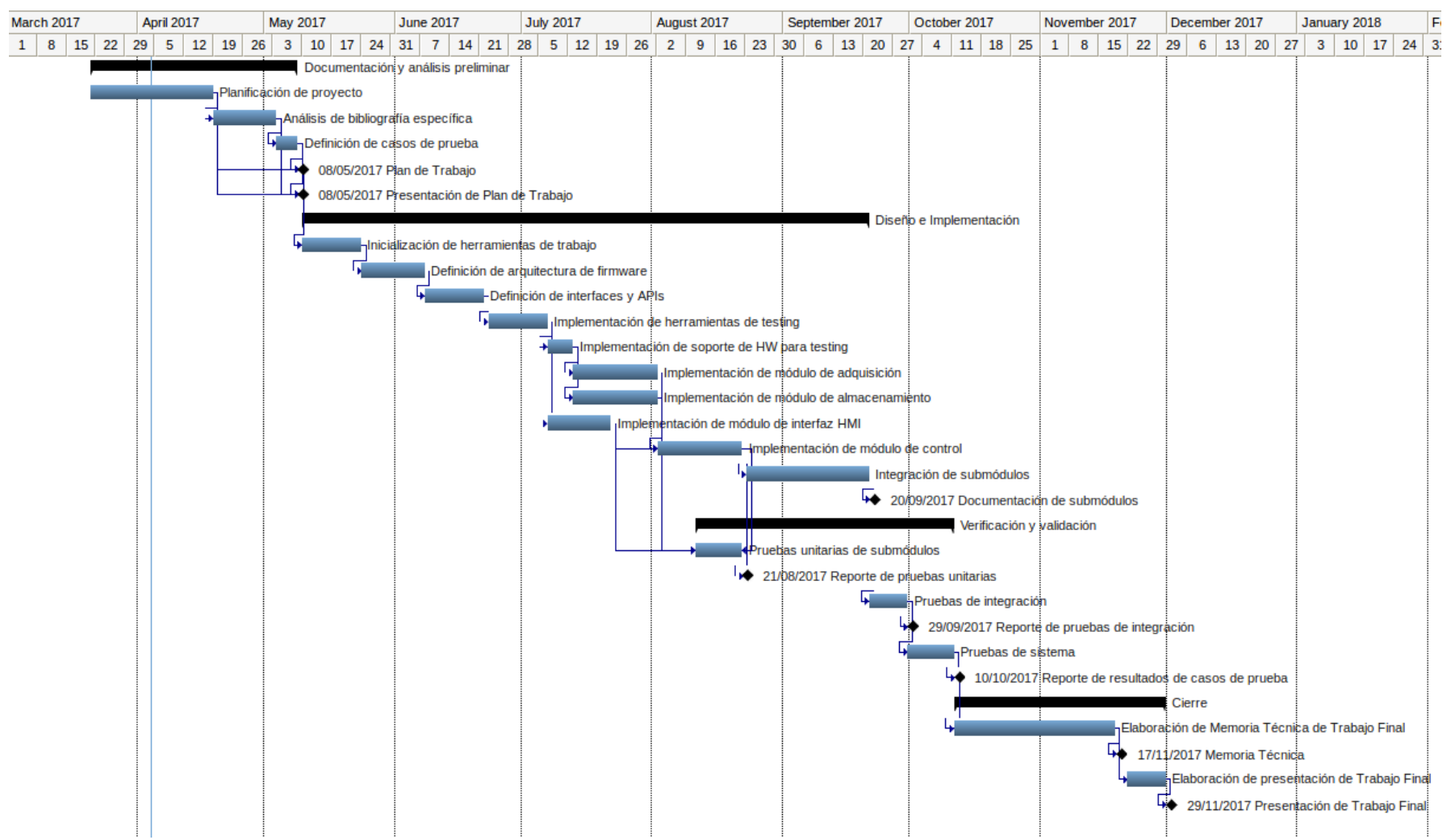


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

## 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**.

Incluir la aclaración de si se emplea como moneda el peso argentino (ARS) o si se usa moneda extranjera (USD, EUR, etc). Si es en moneda extranjera se debe indicar la tasa de conversión respecto a la moneda local en una fecha dada.

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): X.  
Justificación...



- Ocurrecia (O): Y.  
Justificación...

Riesgo 3:

- Severidad (S): X.  
Justificación...
- Ocurrecia (O): Y.  
Justificación...

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 con su correspondiente número.

- 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, 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.