

# Predicción de repuestos e insumos de electrónica según la falla reportada

Autor:

Ing. Daniel Gerardo Bazán

Director:

Título y Nombre del director (pertenencia)

## Índice

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

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	21 de octubre de 2025
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	03 de noviembre de 2025
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	10 de noviembre de 2025

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 21 de octubre de 2025

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Daniel Gerardo Bazán que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Predicción de repuestos e insumos de electrónica según la falla reportada” y consistirá en la implementación del prototipo de un sistema de predicción de repuestos e insumos de acuerdo con las fallas que presenta el equipo electrónico. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ 6.000.000, con fecha de inicio el 21 de octubre de 2025 y fecha de presentación pública el 15 de mayo de 2026.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Ing. Marcelo Alberto García  
Batallón de Mantenimiento de Comunicaciones 601 - EA

Título y Nombre del director  
Director del Trabajo Final

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

### Introducción

El Ejército Argentino (EA) cuenta con un sistema logístico para mantenimiento de equipamiento de electrónica. El **Batallón de Mantenimiento de Comunicaciones 601 (B Mant Com 601)**, situado en la localidad de City Bell – La Plata, es el elemento encargado de realizar esta tarea.

La situación particular se presenta en que los elementos dependientes del EA, a quienes pertenecen los efectos electrónicos, se encuentran desplegados en todo el territorio nacional.

Considerando que las tareas de mantenimiento y reparación se realizan *in situ*, el Centro de Mantenimiento cuenta con un programa que contempla recorrer todos los elementos del EA en un periodo de tres años. Para ello, se dispone de la logística necesaria que incluye el instrumental específico, los insumos y los repuestos requeridos para la ejecución de los trabajos.

Para el planeamiento, preparación y ejecución del programa de mantenimiento, los elementos seleccionados deben elevar al Centro de Mantenimiento un informe con el detalle de todos los efectos electrónicos, en el cual se deben especificar los siguientes datos:

- **Nombre Nacional de Efecto (NNE):** según la catalogación interna del EA. Ejemplo: *Radio HF Yaesu 470*.
- **Número de Identificación (NI):** número único asignado a cada equipo, conforme a la catalogación interna. Ejemplo: *C421*.
- **Cantidad de efectos fuera de servicio.**
- **Fallas que presenta cada equipo.**

A partir de los datos mencionados, y utilizando tanto estadísticas como la experiencia de los técnicos especialistas en cada rubro, se elabora una lista de repuestos e insumos necesarios para su adquisición. Dado que el presupuesto destinado a tal fin constituye un recurso finito, esta etapa resulta crítica para optimizar la planificación de las compras.

Los requerimientos, una vez aprobados por las distintas instancias administrativas, son sometidos a un proceso de licitación abierta a proveedores del Estado. El proceso de compra antes descrito requiere entre cuatro y seis meses para adquisiciones locales, y de seis a doce meses para compras en el exterior. Dichos plazos son gestionados por otros organismos del EA, fuera del control directo del Centro de Mantenimiento.

### Estado del arte

A nivel internacional, las estrategias de mantenimiento basadas en condición (Condition-Based Maintenance, CBM/CBM+) integran técnicas de mantenimiento predictivo con inteligencia artificial (IA) y la gestión de repuestos, reportando mejoras significativas en disponibilidad y reducción de costos cuando se normalizan los datos de mantenimiento y los catálogos de partes. Diversas revisiones sistemáticas (Ignatenko, 2025; Lee et al., 2023; Tharinda et al.,

2025) muestran la madurez de los modelos de aprendizaje automático (Machine Learning, ML) para anticipar fallas y conectar dichas predicciones con planes de inventario y compras.

En el ámbito de defensa, marcos doctrinarios como la *Condition-Based Maintenance Plus (CBM+)* del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Department of Defense, 2024) establecen lineamientos específicos para la adopción de tecnologías de mantenimiento predictivo, mientras que la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) promueve una hoja de ruta orientada a la implementación de capacidades CBM en sistemas complejos. En el sector industrial, la literatura técnica (Nabil et al., 2025) y diversos reportes de consultoras especializadas (KPMG, 2025) destacan la importancia de integrar los algoritmos predictivos con los sistemas de gestión de inventario y compras, priorizando el abastecimiento de piezas críticas y reduciendo los tiempos de reposición.

A nivel regional, Brasil ha incorporado la *manutenção preditiva* como parte de sus procesos oficiales de mantenimiento en el ámbito del Exército Brasileiro, combinando servicios predictivos con la provisión de repuestos e insumos. En Chile, investigaciones recientes sobre mantenimiento predictivo con IA evidencian un avance sostenido en la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático a la predicción de fallas en sistemas electrónicos e industriales, aunque aún persisten limitaciones vinculadas a la disponibilidad y calidad de los datos.

En el contexto argentino, el concepto de mantenimiento predictivo ha sido impulsado en el marco de la Industria 4.0, promovido por organismos públicos y privados. Existen experiencias relevantes de aplicación de IA en entornos operativos de gran escala, como los centros de inteligencia operativa de YPF, que demuestran la viabilidad del uso de analítica avanzada para la optimización de operaciones distribuidas.

El estado del arte muestra una tendencia global hacia la integración de la analítica predictiva y el mantenimiento basado en condición con la gestión automatizada de repuestos e insumos. Esta convergencia tecnológica permite anticipar requerimientos logísticos, optimizar licitaciones y reducir los tiempos de inactividad, constituyendo un marco de referencia sólido para el desarrollo del presente proyecto aplicado al mantenimiento del equipamiento electrónico del Ejército Argentino.

## Proyecto

El presente trabajo se desarrollará en el B Mant Com 601 dedicada al mantenimiento y reparación de una amplia gama de equipos electrónicos, incluyendo: sistemas de comunicaciones (militarizados y no militarizados), centrales telefónicas, equipos informáticos, simuladores y tecnología satelital, entre otros.

La diversidad de dispositivos y la falta de acceso físico previo al material a reparar dificultan la identificación precisa de fallas y la determinación de los repuestos necesarios. Esta situación obliga a realizar solicitudes de compra de insumos con hasta seis meses de antelación, basadas en estimaciones estadísticas y en la experiencia de los técnicos especialistas, lo que genera procesos de adquisición ineficientes.

En respuesta a esta problemática, el desarrollo propuesto en este proyecto busca optimizar la gestión de compra de repuestos e insumos, mejorando la precisión en las estimaciones de los requerimientos de acuerdo con las fallas que presenta cada equipo electrónico, reduciendo los márgenes de error y optimizando los tiempos de respuesta de los requerimientos.

1. El *dataset* será elaborado a partir de la base de datos del Ejército Argentino, con el apoyo de los especialistas técnicos electrónicos que registran sistemáticamente las actividades de mantenimiento y reparación.
2. Además, este *dataset* podrá ser enriquecido con la información proveniente de los programas de mantenimiento posteriores, mejorando de esta manera el entrenamiento de los modelos de inteligencia artificial utilizados en el sistema.

## Bloques del Proyecto y entregable

El proyecto cuanta con nueve bloques (figura 1) según la siguiente descripción:

1. **Base de datos inicial.** Generada por los especialistas técnicos; contiene repuestos e insumos asociados a cada tipo de falla y a los efectos (NNE y NI).
2. **Carga de la base de datos de efectos electrónicos por usuario.** Validación de que la cantidad de efectos declarada por cada usuario coincide con el sistema de control de efectos del EA.
3. **Procesamiento y limpieza de datos.** Normalización, validación y estructuración de históricos de fallas, repuestos e insumos.
4. **Generación del modelo de predicción.** Entrenamiento inicial del modelo de IA con los datos históricos disponibles.
5. **API de interacción con usuarios.** Ingreso operativo de reportes: selección por NI/NNE, cantidad fuera de servicio (F/S), selección de falla y descripción en lenguaje natural.
6. **Ejecución del modelo (inferencia) con datos de la API.** El modelo previamente entrenado procesa los reportes recibidos y produce predicciones *sin modificar sus parámetros*; no hay actualización del modelo en este paso.
7. **Generación del resultado.** Emisión de la lista sugerida de repuestos e insumos en función de las inferencias del modelo.
8. **Control de resultados por especialistas.** Validación técnica del listado generado, con correcciones/ajustes cuando corresponda.
9. **Retroalimentación y reentrenamiento del modelo.** Incorporación de los resultados reales del mantenimiento y reparación para actualizar periódicamente el modelo y mejorar su desempeño futuro.

Este proyecto, además, podrá contar con agentes de control que permitirán:

- Guardar especificaciones técnicas relevantes de componentes y equipos electrónicos.
- Realizar el control de stock de insumos y repuestos.
- Mantener un historial de reparaciones de los efectos, agrupados por categorías (equipos de comunicaciones RF, satelitales, informática, guerra electrónica), por Nombre Nacional de Efecto (NNE) y por Número de Identificación (NI).

Asimismo, podría incluir un módulo de generación de informes estadísticos que permitirá conocer el estado de mantenimiento de los equipos a nivel del Ejército Argentino y evaluar la eficiencia de los programas de mantenimiento implementados.

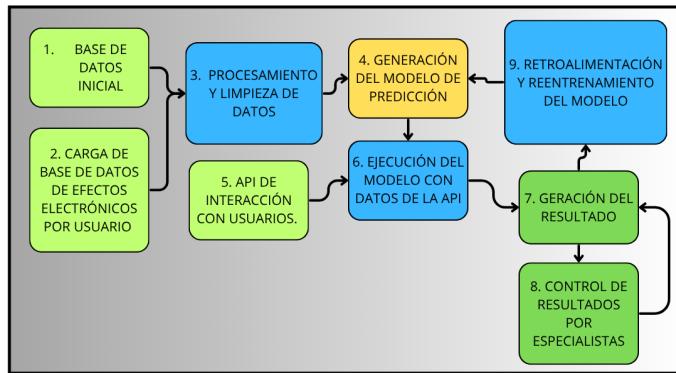


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante		Ejército Argentino	
Cliente	Ing. Marcelo Alberto García	Batallón de Mantenimiento de Comunicaciones 601 - EA	Jefe
Impulsor	—	—	—
Responsable	Ing. Daniel Gerardo Bazán	FIUBA	Alumno
Colaboradores	—	—	—
Orientador	Título y Nombre del director	pertenencia	Director del Trabajo Final
Equipo	Especialistas del B Mant Com 601	—	—
Opositores	—	—	—
Usuario final	—	B Mant Com 601	—

## 3. Propósito del proyecto

Mejorar la deficiencia en la adquisición de insumos y repuestos para la reparación de equipos electrónicos del EA.

#### 4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- API para la carga de datos por parte de los usuarios a solicitar mantenimiento.
- Sistema de procesamiento de datos.
  - Lista de repuestos separados por tipo de efecto.
  - Lista de insumos.
  - Listado de efectos a reparar por usuarios o efectos (NNE) según lo solicitado por el usuario.

El proyecto no incluye mejoras propuestas como:

- Guardar especificaciones técnicas relevantes de componentes y equipos electrónicos.
- Realizar el control de stock de insumos y repuestos.
- Mantener un historial de reparaciones de los efectos, agrupados por categorías (equipos de comunicaciones RF, satelitales, informática, guerra electrónica), por Nombre Nacional de Efecto (NNE) y por Número de Identificación (NI).
- módulo de generación de informes estadísticos

#### 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El B Mant Com 601 pone a disposición todos los especialistas necesarios para la ejecución de las tareas técnicas y de validación.
- Se cuenta con acceso a los sistemas de registro de efectos electrónicos del EA, que permiten identificar los equipos asignados a cada usuario.
- Se dispone del entorno *Cloud* del EA para el montaje, prueba y operación de la API desarrollada.

#### 6. Requerimientos

Los requerimientos deben enumerarse y de ser posible estar agrupados por afinidad, por ejemplo:

1. Requerimientos funcionales:
  - 1.1. El sistema debe...
  - 1.2. Tal componente debe...
  - 1.3. El usuario debe poder...

## 2. Requerimientos de documentación:

- 2.1. Requerimiento 1.
- 2.2. Requerimiento 2 (prioridad menor)
3. Requerimiento de testing...
4. Requerimientos de la interfaz...
5. Requerimientos interoperabilidad...
6. etc...

Leyendo los requerimientos se debe poder interpretar cómo será el proyecto y su funcionalidad.

Indicar claramente cuál es la prioridad entre los distintos requerimientos y si hay requerimientos opcionales.

**¡¡¡No olvidarse de que los requerimientos incluyen a las regulaciones y normas vigentes!!!**

Y al escribirlos seguir las siguientes reglas:

- Ser breve y conciso (nadie lee cosas largas).
- Ser específico: no dejar lugar a confusiones.
- Expresar los requerimientos en términos que sean cuantificables y medibles.

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

Descripción: en esta sección se deben incluir las historias de usuarios y su ponderación (*history points*). Recordar que las historias de usuarios son descripciones cortas y simples de una característica contada desde la perspectiva de la persona que desea la nueva capacidad, generalmente un usuario o cliente del sistema. La ponderación es un número entero que representa el tamaño de la historia comparada con otras historias de similar tipo.

Se debe indicar explícitamente el criterio para calcular los *story points* de cada historia.

El formato propuesto es:

1. “Como [rol] quiero [tal cosa] para [tal otra cosa].”

*Story points*: 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son (ejemplo):

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

## 9. Desglose del trabajo en tareas

El WBS debe tener relación directa o indirecta con los requerimientos. Son todas las actividades que se harán en el proyecto para dar cumplimiento a los requerimientos. Se recomienda mostrar el WBS mediante una lista indexada:

1. Grupo de tareas 1 (suma h)
  - 1.1. Tarea 1 (tantas h)
  - 1.2. Tarea 2 (tantas h)
  - 1.3. Tarea 3 (tantas h)
2. Grupo de tareas 2 (suma h)
  - 2.1. Tarea 1 (tantas h)
  - 2.2. Tarea 2 (tantas h)
  - 2.3. Tarea 3 (tantas h)
3. Grupo de tareas 3 (suma h)
  - 3.1. Tarea 1 (tantas h)
  - 3.2. Tarea 2 (tantas h)
  - 3.3. Tarea 3 (tantas h)
  - 3.4. Tarea 4 (tantas h)
  - 3.5. Tarea 5 (tantas h)

Cantidad total de horas: tantas.

**¡Importante!: la unidad de horas es h y va separada por espacio del número. Es incorrecto escribir “23hs”.**

**Se recomienda que no haya ninguna tarea que lleve más de 40 h.** De ser así se recomienda dividirla en tareas de menor duración.

## 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

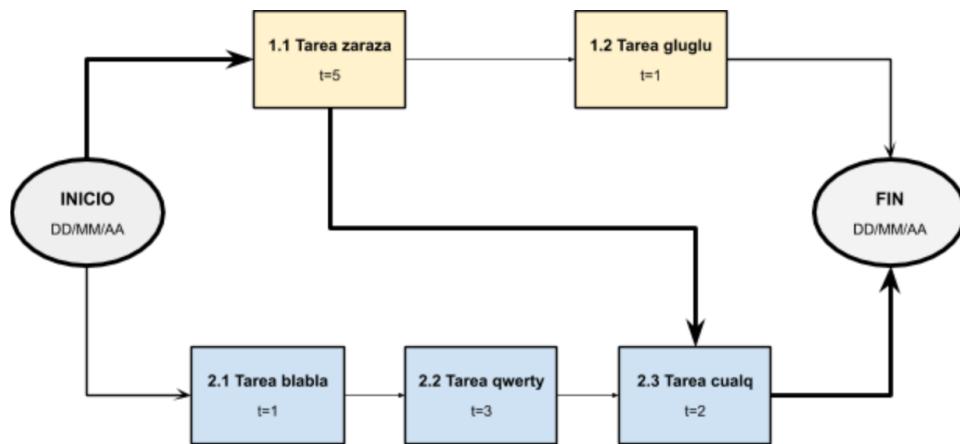


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

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.

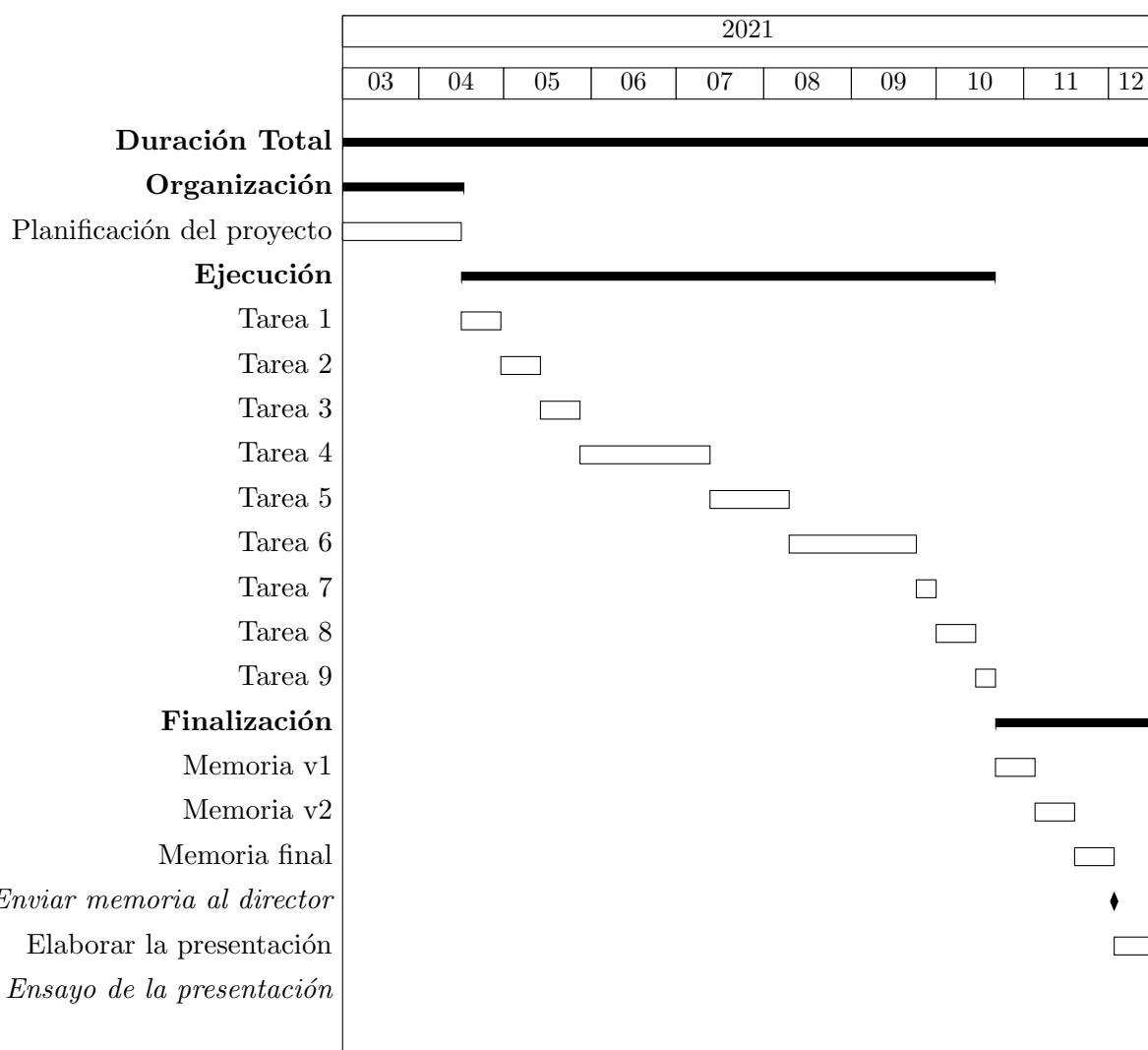


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

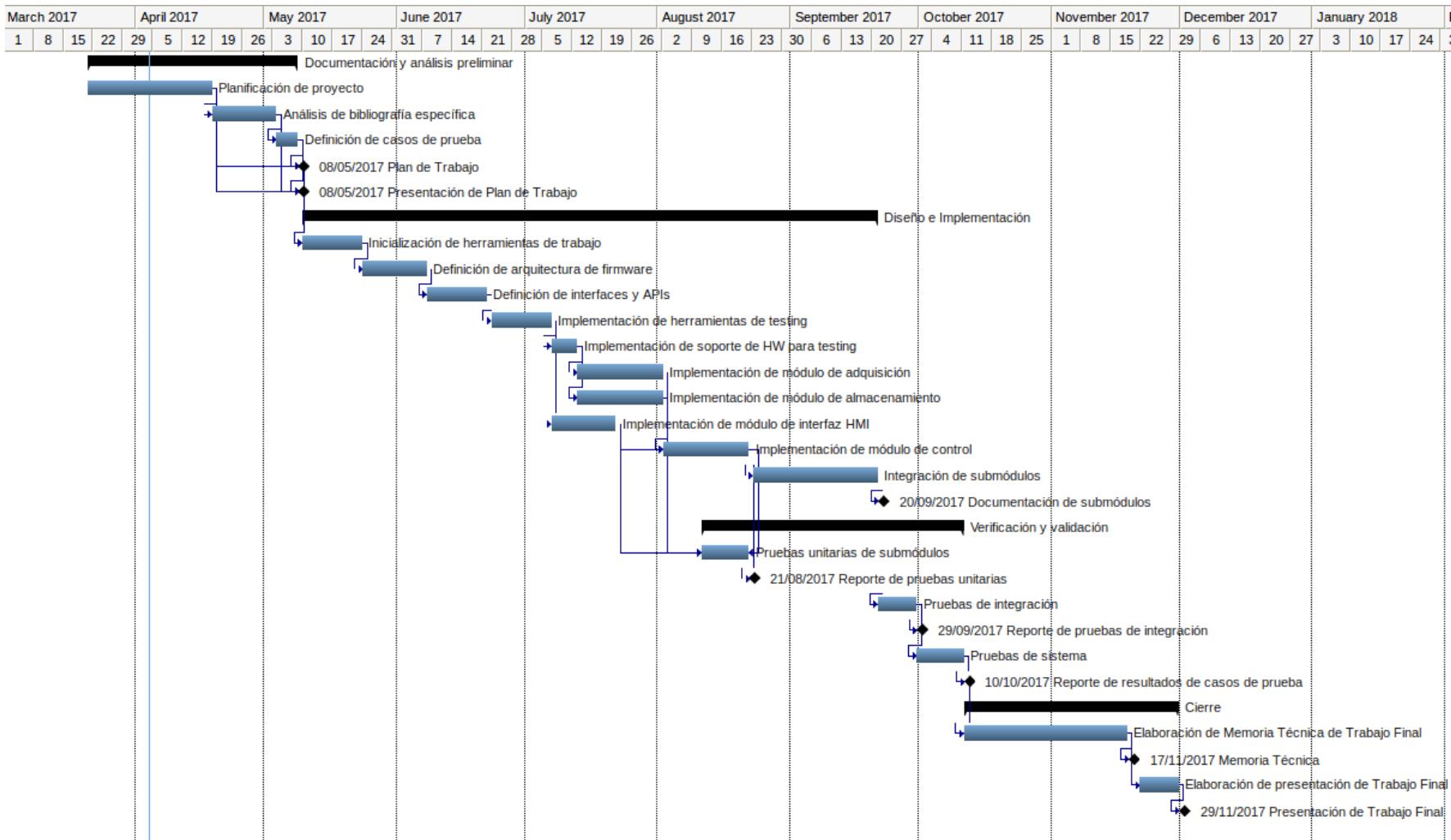


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

## 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...

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

Riesgo 3:

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

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como  $RPN=SxO$ )

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.