



Estación de radio portátil para el monitoreo de radioemisiones comerciales

Autor:

Ing. Ramiro Sanes

Director:

PhD. Pablo Iturralde (UCU)

Codirector:

¿Me sugieren a alguien? Firmware Specialist (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 | 7 |
| 3. Propósito del proyecto | 7 |
| 4. Alcance del proyecto | 8 |
| 5. Supuestos del proyecto. | 8 |
| 6. Requerimientos | 9 |
| 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. | 13 |
| 11. Diagrama de Gantt | 13 |
| 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 | 20 de agosto de 2024 |
| 1 | Se completa hasta el punto 5 inclusive. | 2 de setiembre de 2024 |
| 2 | Se completa hasta el punto 9 inclusive, se hacen correcciones a ver 1. | 10 de setiembre de 2024 |

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de agosto de 2024

Por medio de la presente se acuerda con Ing. Ramiro Sanes que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Estación de radio portátil para el monitoreo de radioemisiones comerciales” y consistirá en la implementación de un dispositivo portátil y de bajo costo para el monitoreo de estaciones de radios FM. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ 200, con fecha de inicio el 20 de agosto de 2024 y fecha de presentación pública en junio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

PhD. Pablo Iturralde
UCU

PhD. Pablo Iturralde
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Contexto

El control y la regulación de las emisiones de las bandas de FM es esencial para garantizar la calidad del servicio, detectar interferencias o asegurar el cumplimiento de las normas, por establecer unos primeros ejemplos. En Uruguay, el organismo encargado de estas normas es la URSEC (Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Comunicaciones). Los equipos utilizados para estos fines suelen ser sofisticados, complejos y costosos.

Por otro lado, desde hace algunos años existen en el mercado periféricos llamados RTL-SDR. Estos dispositivos son de bajo costo y tamaño, y pueden sintonizarse en diversas bandas del espectro electromagnético (VHF). Además, cuentan con un ancho de banda y una velocidad de transferencia suficientes para realizar el procesamiento o la demodulación de las señales mediante software. Se encuentran en el mercado diversos RTL-SDR en el entorno de los 50 USD, de diversos fabricantes y características operativas muy similares.



Figura 1. Nooelec SDR Bundle: RTL-SDR y antenas.

En los últimos años, la Raspberry Pi ha ganado popularidad como herramienta para implementar proyectos de bajo costo y fácil acceso. Gracias a su versatilidad y amplia documentación disponible, se utilizará en este trabajo para conectar diversos tipos de hardware de visualización de datos, así como para integrar y gestionar interfaces USB necesarias para la operación del sistema.

En el presente trabajo se pretende desarrollar una estación de recepción de radio portátil que permita a sus usuarios configurarlo para realizar diversas tareas de monitoreo, en las emisiones de radio comerciales más comunes, en particular la banda FM (80-120 MHz). Este dispositivo

será fácilmente replicable con tecnologías OTS (Of The Shelf) y open source, para hacerlo de bajo costo y fácil despliegue.



Figura 2. Raspberry Pi model 4B.

Es un trabajo que integra diversos aspectos del manejo de periféricos y de sistemas para poder realizar una tarea específica, que es de interés particular para un ente regulador, pero también para radioaficionados. Además profundiza en el conocimiento de la fenomenología RF y sus aplicaciones prácticas en la electrónica. Involucra conocimientos en diversas áreas, tanto en hardware, como en software, ciencias aplicadas y gestión de proyectos.

Es deseable que este dispositivo pueda ser accesible remotamente, para poder leer o guardar su información en tiempo real, como también es óptimo que tenga la capacidad de algún tipo de interfaz para la visualización de datos espectrales. En principio, estos requerimientos pueden modificarse o adaptarse a las necesidades del cliente a medida que se desarrolla el trabajo.

Tecnología

Se dispone con el hardware adecuado para la implementación de un prototipo inicial y las horas de ingeniería de un estudiante, que pretende ampliar su conocimiento en el desarrollo de electrónica práctica y conocimientos en RF. El hardware consiste en un RTL-SDR (Nooelec Smart Tee Xtr) y una Raspberry Pi 4B. Además, se cuenta con un conocimiento inicial básico de las tecnologías mencionadas, el que pretende ir desarrollándose en profundidad en conjunto con el proyecto. En principio, la elección del hardware inicial no debería cambiar sustancialmente las características del proyecto.

El RTL-SDR, un receptor de radio definido por software (Software Defined Radio), permite sintonizar y demodular una amplia gama de frecuencias, y convierte señales de radio en datos digitales. Este dispositivo cuenta con un Tuner (E4000) y con un demodulador/serializador

USB (Realtek R2832U). El funcionamiento interno del dispositivo queda por fuera del alcance de este proyecto, aunque es importante resaltar que es necesario para poder comprender cómo usar la tecnología eficientemente. En el siguiente diagrama de bloques se puede visualizar su funcionamiento a nivel abstracto:

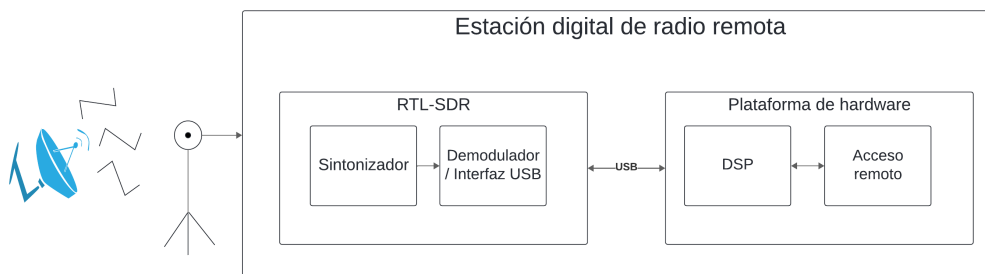


Figura 3. Diagrama funcional del sistema.

Con un dispositivo RTL-SDR y utilizando software, es posible sintonizarse a una estación de radio FM y capturar la información necesaria, como por ejemplo, escuchar el audio codificado en ellas o medir el nivel de intensidad de la emisión. Estas funcionalidades están ampliamente documentadas. Además, existen diversas aplicaciones para radioaficionados que permiten explorar rápidamente las posibilidades de un SDR. Por ejemplo, es posible visualizar el espectro electromagnético de manera gráfica.

Resumen

Este proyecto explorará diferentes enfoques para adquirir la mayor cantidad de información posible sobre las emisiones en la banda FM utilizando SDR en la plataforma Raspberry Pi. Se evaluará tanto la optimización de las capacidades del periférico como de la arquitectura, con el objetivo de capturar la mayor cantidad de información relevante.

2. Identificación y análisis de los interesados

| Rol | Nombre y Apellido | Organización | Puesto |
|-------------|----------------------|--------------|----------------------------|
| Cliente | PhD. Pablo Iturralde | UCU | Director del Trabajo Final |
| Responsable | Ing. Ramiro Sanes | FIUBA | Alumno |
| Orientador | todofine | todofine | Co-director |
| Cliente | PhD. Pablo Iturralde | URSEC | Director del Trabajo Final |

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar una estación portátil de radio digital, para que diversos agentes como radioaficionados o entes reguladores puedan monitorear, escuchar y/o procesar las radioemisiones que se transmiten a los distintos puntos de un territorio.

Esta estación deberá contar con hardware apropiado: fácilmente adquirible y de bajo costo. Inicialmente, será una Raspberry Pi 4B y un Nooelec RTL-SDR. El sistema debe ser fácilmente operable por los agentes que desean obtener información relevante. Además, el sistema debe ser autónomo, es decir, que pueda realizar tareas de monitoreo específicas de manera automática, ya sean estándar o personalizadas. El sistema final debe ser modular y escalable, de forma en

que se puedan desplegar, al menos en los papeles, varios dispositivos en simultáneo en una plataforma unificadora.

4. Alcance del proyecto

El proyecto abarca la investigación, el diseño y la implementación del prototipo. Para ser más específico, a continuación se itemizan los distintos aspectos:

- Implementación de recepción de señales RF con el hardware inicial
 - Investigación de fenomenología, sampleo y demodulación RF.
 - Investigación de drivers.
 - Investigación de aplicaciones/software existente.
- Caracterización de capacidades de hardware y plataforma
 - Ancho de banda disponible y necesario.
 - Consumo de potencia.
 - Estimación de capacidades máximas de extracción de información relevante según hardware inicial.
- Implementación de estación de radio digital
 - Desarrollo de software de monitoreo.
 - Desarrollo de software de visualización de datos.
 - Desarrollo de geolocalización y conectividad remota.
 - Integración de diversos módulos de software en el sistema final.
- Caracterización de sistema final
 - Límites de extracción de información del sistema.
 - Estudio de escalabilidad del sistema final.

El proyecto no incluye:

- Desarrollo de drivers USB.
- Despliegue/Implementación de varias estaciones de radio en simultáneo.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se cuenta con el hardware inicial acorde para las necesidades iniciales
 - Ancho de banda suficiente para recibir señales de audio de al menos una radio FM en un tiempo dado.

- La plataforma seleccionada tiene la capacidad de potencia suficiente para mantener recepciones por tiempos continuos e indefinidos.
- Todos los drivers/software necesarios para su operación se encuentran ampliamente disponibles y existen muchas herramientas open source para apoyarse y colaborar.
- Los requerimientos y especificaciones irán modificándose a medida que se desarrolle el proyecto.
- Se cuenta con el conocimiento y tiempo suficiente para poder implementar estas tecnologías de una manera sofisticada, con buenas prácticas, y que aproveche el máximo el hardware disponible.

6. Requerimientos

A continuación se listarán los requerimientos que deba cumplir el prototipo a desarrollarse para considerarlo exitoso:

1. Requerimientos funcionales:

- El sistema debe consistir únicamente en partes de hardware OTS y de armado sencillo.
- Fácil despliegue.
- El sistema deberá mínimamente ser capaz de capturar la mayor cantidad de información relevante de al menos una emisión de radio FM en un tiempo dado (audio en principio, podría ser potencia o GPS que eventualmente voy a necesitar, pero no se si comprar uno, o si implementarlo con el SDR, perdon por este parentesis, es que mi proyecto me lo estoy definiendo a la carrera y no tengo director aun!).
- El software necesario debe estar unificado en una aplicación de ser posible (mariano: no tengo idea de software, invento cosas).

2. Requerimientos de documentación:

- El sistema deberá tener un manual de usuario para poder operarlo, tanto en sitio como remotamente, de manera sencilla.
- Se debe contar con un documento que caracterize al sistema de tal manera de conocer sus rangos de operación o de extracción de información máxima.

3. Requerimientos de operabilidad:

- El sistema debe realizar alguna tarea de monitoreo básico autónomamente y almacenar determinada información por defecto.
- El sistema debe realizar tareas personalizadas que un usuario común o experto pueda implementar y configurar mediante algún script.
- El acceso del sistema remoto debe ser sencillo y con herramientas cotidianas (navegador web o smartphone).

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Se identifican determinados roles para las historias de usuario:

- **Radioaficionados:** Estos usuarios son personas sin un conocimiento muy amplio en la electrónica o en el mundo RF. Estos usuarios esperan tener un dispositivo fácilmente adquiribles por ellos y fácilmente operable.
- **Entes reguladores:** Estos operadores del dispositivo desean poder obtener diversas métricas de catacterización de las señales obtenidas. Además también van a estar interesados en qué lugar de un territorio se hicieron tales mediciones. Por último, este usuario también desea poder procesar la mayor cantidad de información relevante de manera autónoma, mediante scripts o configuración del sistema.
- **Estudiante:** Como emprendimiento personal, se desea adquirir la mayor cantidad de formación y experiencia posible en los diversos campos que abarcan este proyecto. Se desea implementar un producto finalizado que sea escalable y modular. Se espera tener un conocimiento profundo de todo lo implementado y a la vez abstracto o de alto nivel. Un onocimiento desde las operaciones mas simples hasta la interoperabilidad de distintas operaciones trabajando en simultáneo para un sistema final.

Para las historias de usuario que se presentan a continuación, se les asigna un punto de historia (*history points*) en tres categorías: dificultad, complejidad y riesgo o incertidumbre. La escala de puntuación es análoga a la sucesión de Fibonacci y la suma de los puntos de historia de cada categoría representa los puntos de historias total (redondeando el número superior más próximo a la sucesión de Fibonacci).

| Grado | Dificultad | Complejidad | Riesgo o Incertidumbre |
|-------|------------|-------------|------------------------|
| Bajo | 1 | 1 | 1 |
| Medio | 3 | 5 | 8 |
| Alto | 5 | 13 | 21 |

A partir de los roles y métricas definidas anteriormente, se procede a desmenuzar el proyecto como una serie de hitos o logros principales que resumen al sistema a desarrollarse. Estos estan concebidos como una historia de usuario por cada rol. Cada una de estas historias de usuario conlleva muchas subtareass a desarrollarse para cumplirlas, pero en principio podemos orientar al proyecto según ellas:

1. Como *radioaficionado* quiero un *producto* para *sintonizar y escuchar* emisiones de *radio FM*.
 - Dificultad: 5.
 - Complejidad: 3.
 - Riesgo o Incertidumbre: 1.
 - **Total:** 9.
2. Como *ente regulador* quiero una *herramienta* para *analizar y monitorear* las diversas emisiones de *radio FM* en los diversos puntos de un territorio para *controlar* que se cumplan determinadas normativas.

- Dificultad: 8.
- Complejidad: 5.
- Riesgo o Incertidumbre: 3.
- **Total: 16.**

3. Como *estudiante* quiero un *conocimiento y dominio* de las *tecnologías involucradas* para ampliar mi perfil profesional y capacidades de *crear productos electrónicos de fácil adquisición, ensamblaje e implementación* en esta u otras plataformas.

- Dificultad: 13.
- Complejidad: 13.
- Riesgo o Incertidumbre: 1.
- **Total: 27.**

8. Entregables principales del proyecto

El trabajo se considerará cerrado y culminado cuando se cumplan determinados entregables:

- BOM y costo total de adquisición y/o operación.
- Manual de instalación, operación y uso.
- Repositorio público con todo el software necesario para la implementación del producto en las diversas plataformas.
- Documentación sobre la caracterización del producto: Cantidad de información relevante que pueda ser capturada en tiempo real.
- Demostración del producto: cumplimiento de requerimientos.
- Memoria del trabajo final.

9. Desglose del trabajo en tareas

Se descompone el trabajo en distintas tareas atómicas de tal forma de poder dar seguimiento y poder gestionar acertadamente los recursos temporales y de ejecución entre distintas tareas. Estas tareas atómicas están organizadas en categorías generales en las que se detallan en **negrita** la suma de todas las tareas atómicas de la categoría dada.

1. Planificación del proyecto (**40 h**)

- Definición de proyecto, alcances, requerimientos, WBS y plan de trabajo (20 h)
- Presentación y exposición del proyecto (20 h)

2. Investigación sobre las tecnologías a utilizar (**60 h**)

- Caracterización del RTL-SDR adquirido (10 h)
- Caracterización del Raspberry Pi adquirido (10 h)

- Investigación en comunicaciones RF y procesamiento de señales digitales básico (10 h)
- Investigación de sistemas operativos, software y drivers existentes (10 h)
- Selección en base a investigación de paquete de SW a utilizar (10 h)
- Captura, almacenamiento y visualización inicial (10 h)

3. Desarrollo (**205 h**)

- Implementación de sistema operativo, software y drivers (15h)
- Implementación de primera recepción de estaciones FM (25 h)
- Implementación de visualización de datos espectrales (25 h)
- Implementación de procesamiento digital de datos obtenidos (audio) (15 h)
- Implementación de almacenamiento eficiente de información obtenida (25 h)
- Implementación de aplicación general unificadora (50 h)
- Implementación de acceso remoto (25 h)
- Implementación de API (25 h)

4. Caracterización (**100 h**)

- Consumo de ancho de banda de interfaz USB (25 h)
- Perfiles de consumo de potencia (25 h)
- Uso de memoria (25 h)
- Transferencia de datos (25 h)

5. Iteración de desarrollo (**130 h**)

- Implementación de GPS (40 h)
- Maximización de recursos del sistema para obtener más información (25 h)
- Definición de tipo de *power source* a utilizar (25 h)
- Testeos (50 h)

6. Demostración (**30 h**)

- Integración del sistema (15 h)
- Pruebas de funcionamiento del sistema completo (15 h)

7. Documentación (**60 h**)

- Manual de uso rápido (10 h)
- Manual de uso general (20 h)
- Repositorio documentado y prolijo (20 h)
- BOM y caracterización de capacidades (10 h)

8. Presentación y defensa (**20 h**)

- Armado presentación (10 h)
- Exposición de proyecto final (10 h)

Cantidad total de horas: 645.

10. Diagrama de Activity On Node

Armado 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

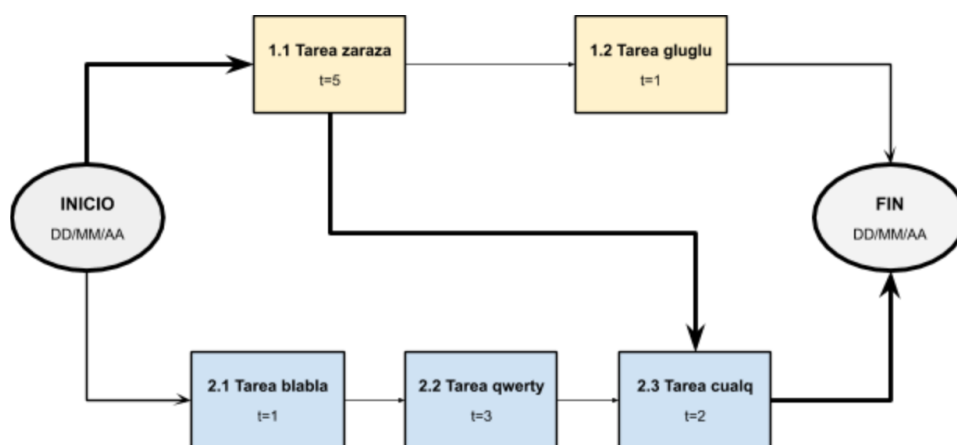


Figura 4. Diagrama de *Activity on Node*.

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 5, 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.

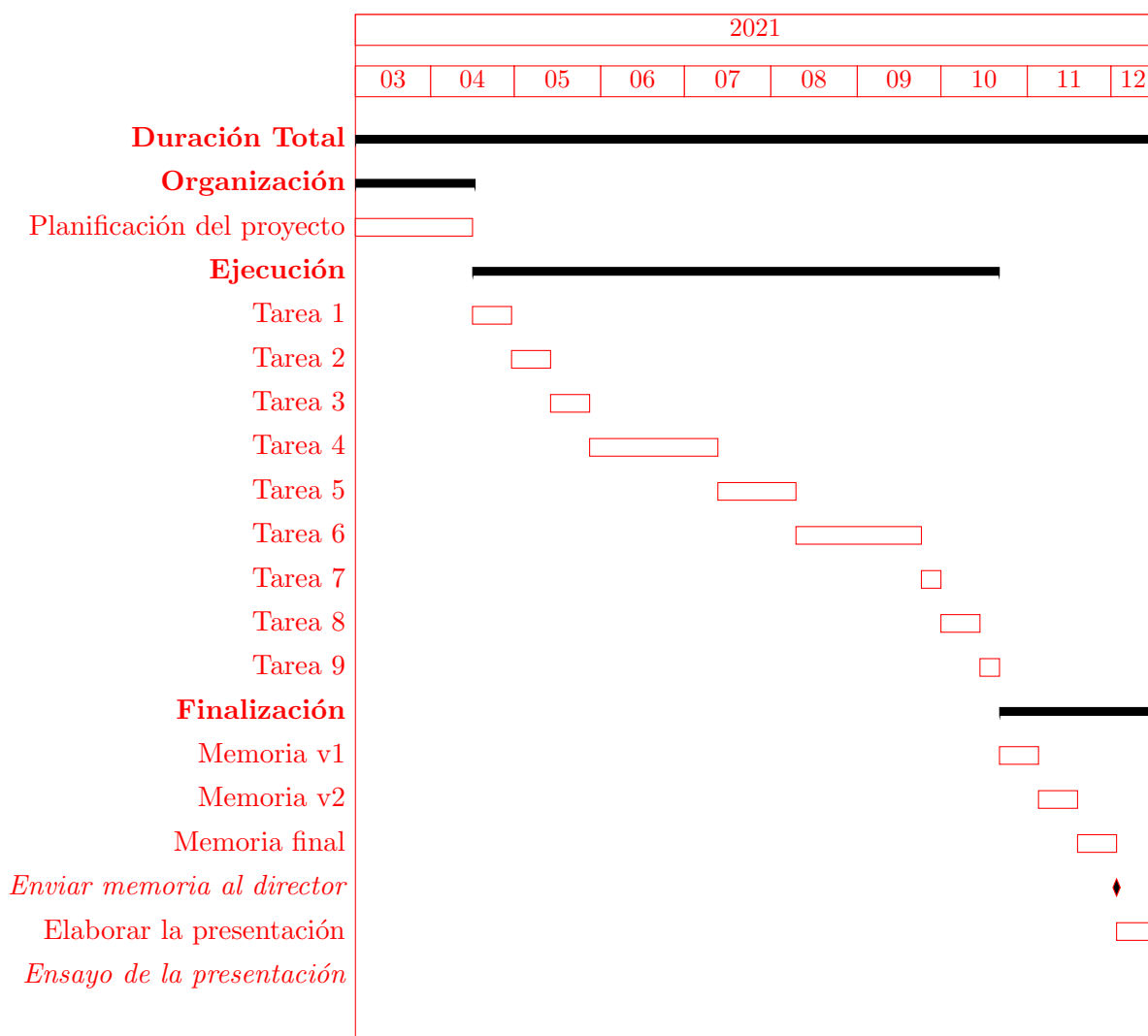


Figura 5. Diagrama de gantt de ejemplo



Figura 6. 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...

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

Riesgo 3:

- Severidad (S): X.
Justificación...
- Ocurriencia (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.