



# Modernización de Contadores de Tránsito con Comunicación Bidireccional

Autor:

Ing. Diego Aníbal Vázquez

Director:

- (-)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 30 de abril de 2025 y el 18 de junio de 2025.*

## Índice

<b>1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar . . . . .</b>	<b>5</b>
1.1 Contexto y Motivación . . . . .	5
1.2 Problemas Identificados . . . . .	5
1.3 Estado del Arte y Propuesta de Valor . . . . .	5
1.4 Propuesta de Modernización . . . . .	5
1.5 Descripción Funcional y Técnica . . . . .	6
1.6 Características del Cliente y del Entorno . . . . .	6
1.7 Grado de Innovación . . . . .	6
<b>2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>3. Propósito del proyecto . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>4. Alcance del proyecto . . . . .</b>	<b>8</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>11</b>
<b>8. Entregables principales del proyecto . . . . .</b>	<b>11</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>16</b>
<b>13. Gestión de riesgos . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>14. Gestión de la calidad . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>15. Procesos de cierre . . . . .</b>	<b>18</b>

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	30 de abril de 2025

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 30 de abril de 2025

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Diego Aníbal Vázquez que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Modernización de Contadores de Tránsito con Comunicación Bidireccional” y consistirá en un sistema de comunicación con los contadores de tránsito, incorporando un modelo de comunicación bidireccional. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ - , con fecha de inicio el 30 de abril de 2025 y fecha de presentación pública el 30 de mayo de 2025. Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Subgerencia de Estudios de Demanda  
Vialidad Nacional

-  
Director del Trabajo Final

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

### **1.1. Contexto y Motivación**

Este proyecto surge a partir de una necesidad detectada en la infraestructura actual de monitoreo del tránsito vehicular utilizada en rutas nacionales.

Actualmente, uno de los modelos de contadores de tránsito empleados ha sido desarrollado internamente y cumplen adecuadamente su función básica: registrar el paso de vehículos, clasificarlos por carril en livianos y pesados, y transmitir los datos a un servidor central.

Sin embargo, estas unidades se comunican exclusivamente mediante enlaces GPRS tercerizados, a través de un canal unidireccional. Esto impide cualquier tipo de interacción remota con los dispositivos en campo.

Frente a esta situación, se plantea el desafío de modernizar la arquitectura de comunicaciones del sistema, incorporando capacidades de comunicación bidireccional, diagnóstico remoto y respuesta operativa rápida.

### **1.2. Problemas Identificados**

- Falta de comunicación bidireccional: actualmente, no es posible enviar comandos desde el servidor a los dispositivos para ajustar su configuración, reiniciarlos o recolectar información de diagnóstico.
- Dependencia de proveedores externos: la infraestructura GPRS utilizada es tercerizada, lo que genera costos recurrentes, posibles restricciones técnicas y dificultades para gestionar incidentes de manera eficiente.
- Imposibilidad de actualización remota: cualquier modificación de parámetros de funcionamiento requiere intervención física en el dispositivo, lo que limita la flexibilidad y agilidad operativa.

### **1.3. Estado del Arte y Propuesta de Valor**

En el mercado existen diversas soluciones comerciales que ofrecen capacidades de gestión remota y comunicación bidireccional; sin embargo, muchas de ellas resultan costosas.

El enfoque propuesto busca aprovechar tecnologías de código abierto y protocolos estandarizados (MQTT sobre TLS), con el objetivo de construir una alternativa flexible, escalable y económicamente viable, adaptada al entorno específico de las rutas argentinas.

### **1.4. Propuesta de Modernización**

Se propone rediseñar el sistema de comunicaciones de los contadores de tránsito mediante la incorporación de un modelo de comunicación bidireccional y segura. Este nuevo esquema permitirá no solo el envío de datos desde los dispositivos hacia el servidor central, sino también la

recepción de comandos y actualizaciones de parámetros desde el servidor hacia los dispositivos en el campo. Además, se prevé la visualización de los datos en tiempo real, conforme se transmiten.

### 1.5. Descripción Funcional y Técnica

El sistema estará compuesto por:

- Un dispositivo contador (ya desarrollado pero incompleto) modificado para incluir capacidad de comunicación bidireccional.
- Un canal de comunicación (GPRS).
- Un protocolo de comunicación con MQTT sobre TLS.
- Una base de datos relacional donde se almacenará toda la información recibida de los dispositivos.
- Una interfaz web básica alojada en el servidor central, que permitirá visualizar en tiempo real los datos capturados y enviar comandos a los dispositivos (reinicio, carga de parámetros, consulta de estado).
- Funciones básicas de monitoreo remoto: temperatura del equipo, nivel de batería, errores de hardware o comunicación.

### 1.6. Características del Cliente y del Entorno

El cliente, la Subgerencia de Estudios de Demanda de Vialidad Nacional, está interesado en modernizar sus sistemas de conteo de tránsito. Valora especialmente la autonomía operativa, la posibilidad de diagnóstico remoto y la reducción de costos operativos. En esta etapa, no se han establecido condiciones especiales relacionadas con la propiedad intelectual ni con la confidencialidad.

### 1.7. Grado de Innovación

La innovación del proyecto radica en la integración de elementos existentes (sensores, redes móviles) bajo una arquitectura abierta y centralizada, adaptable y orientada a la gestión inteligente de los datos de tránsito, con un fuerte énfasis en la autonomía y flexibilidad operativa.

En la figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema. El dispositivo de conteo, compuesto por sensores y un microcontrolador, se comunica mediante un canal inalámbrico GPRS y transmite los datos hacia un broker MQTT externo. El servidor central está suscrito a este broker y recibe los datos mediante un módulo de procesamiento que los almacena en una base de datos relacional. Paralelamente, el sistema cuenta con una API REST que permite el acceso a la información desde una interfaz web y la ejecución de comandos administrativos. De esta manera, el sistema combina la eficiencia del protocolo MQTT para el envío de datos en tiempo real con la flexibilidad de una API REST para la gestión y visualización.

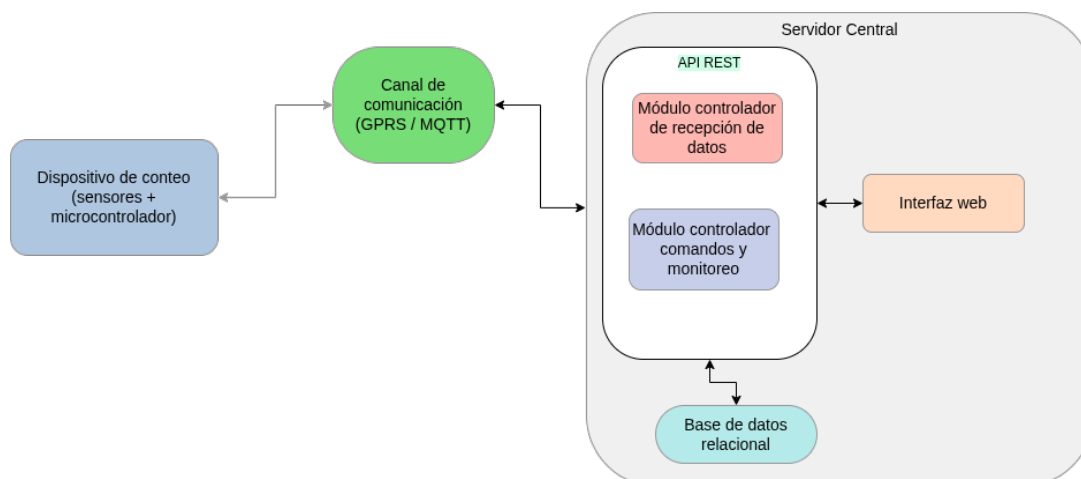


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

- Auspiciante: es exigente con la rendición de gastos. Tener mucho cuidado con esto.
- Colaborador: Inga. María Clara Cutrone, suele pedir licencia porque tiene familia extensa. Planificar considerando esto.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Vialidad Nacional	-	-
Cliente	Subgerencia de Estudios de Demanda	Vialidad Nacional	-
Impulsor	Ing. Rogelio Diego González	Vialidad Nacional	Subgerente de Estudios de Demanda
Responsable	Ing. Diego Aníbal Vázquez	FIUBA	Alumno
Colaborador	Inga. María Clara Cutrone	Vialidad Nacional	Jefa Sección Análisis Tránsito
Colaborador	Ing. Alejandro Di Rosso	Vialidad Nacional	Jefe de Sección Censos de Carga
Orientador	-	-	Director del Trabajo Final
Opositores	ATSA	-	-
Usuario final	Subgerencia de Estudios de Demanda	Vialidad Nacional	-
Usuario final	Gerencia Ejecutiva de Proyectos y Obras	Vialidad Nacional	-
Usuario final	Consultoras Externas	-	-

### 3. Propósito del proyecto

Diseñar e implementar un sistema capaz de registrar eventos de tránsito y permitir la transmisión segura de los datos recolectados, incluso ante cortes de conexión. Además, se busca incorporar capacidades de comunicación bidireccional que habiliten diagnósticos remotos y la carga de actualizaciones de parámetros, así como una mejor respuesta ante fallas. Con ello, se pretende mejorar la calidad de la información recolectada en rutas nacionales y facilitar el trabajo de los equipos técnicos responsables del monitoreo.

### 4. Alcance del proyecto

Se desarrollará un prototipo funcional que permita validar los aspectos clave del rediseño propuesto. El prototipo incluirá:

- Un dispositivo contador (actualmente existente, pero incompleto), al que se le incorporará capacidad de comunicación bidireccional.
- Un canal de comunicación GPRS.
- Implementación de un protocolo seguro (MQTT sobre TLS) para el envío y recepción de datos y comandos.



- Una interfaz básica en el servidor central para la visualización de datos en tiempo real y el envío de instrucciones al dispositivo.
- Funciones elementales de monitoreo remoto
- Base de datos relacional en el servidor central para el almacenamiento estructurado de los datos recibidos desde los dispositivos de campo.

El presente proyecto no incluye el desarrollo ni la implementación de algoritmos de inteligencia artificial para estimar o reconstruir tránsitos no detectados.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se dispone de acceso a la infraestructura actual de los contadores de tránsito ya instalados, así como de la documentación técnica necesaria para su análisis y eventual integración.
- Se cuenta con conectividad intermitente por GPRS en los sitios donde se instalará el sistema, permitiendo validar el funcionamiento del envío diferido de datos.
- Los recursos humanos involucrados estarán disponibles durante la duración del proyecto, en los tiempos y roles previstos.
- Los materiales requeridos (hardware de prueba, sensores, dispositivos de comunicación, etc.) estarán disponibles o serán reemplazables por equivalentes funcionales en caso de faltantes.
- La incorporación de comunicación bidireccional es técnicamente factible y puede realizarse sin rediseñar completamente el hardware existente.

## 6. Requerimientos

### 1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. El ESP32-C3 debe recibir datos por interfaz **RS-232** desde el sistema de detección.
- 1.2. Cada evento recibido debe ser **encolado en memoria RAM** en el orden de llegada.
- 1.3. El ESP32-C3 debe publicar cada mensaje de la cola a un **broker MQTT** remoto usando GPRS.
- 1.4. El protocolo MQTT debe utilizar **QoS 1 o 2** para asegurar entrega sin duplicación.
- 1.5. Debe haber control de reintentos ante fallos de conexión sin duplicar mensajes.
- 1.6. Si no hay conectividad GPRS disponible, los mensajes deben permanecer en la cola en memoria.
- 1.7. Al llenarse la cola, los mensajes nuevos pueden descartarse (política FIFO).
- 1.8. El ESP32-C3 debe **suscribirse a un topic MQTT** para recibir comandos desde el servidor.
- 1.9. Al recibir un comando válido, el ESP32-C3 debe **ejecutar una acción responder OK o error, también puede devolver con el estado solicitado**.

- 1.10. La API REST debe suscribirse al mismo broker MQTT y recibir todos los eventos publicados.
- 1.11. La API REST debe poder **enviar comandos al ESP32-C3** publicando en el topic correspondiente.
- 1.12. La **interfaz web** debe permitir visualizar eventos de tránsito recibidos desde la API REST.
- 1.13. La interfaz web debe permitir enviar comandos al ESP32-C3 a través de la API REST y posibilitar ver si se pudieron realizar los comandos o el estado solicitado.

## 2. Requerimientos de documentación:

- 2.1. Documentar la estructura de los mensajes RS-232 esperados (formato, delimitadores).
- 2.2. Especificar el topic MQTT usado y los parámetros de conexión (broker, puerto, QoS).
- 2.3. Incluir diagrama de bloques del flujo de eventos: contador → RS-232 → cola → MQTT → API REST.
- 2.4. Incluir diagrama de bloques del flujo de eventos: API REST → MQTT → RS-232 → contador.
- 2.5. Documentar los comandos remotos disponibles y el formato de sus respuestas.
- 2.6. Documentar la estructura de los endpoints REST y sus respuestas.

## 3. Requerimientos de testing:

- 3.1. Probar pérdida de conectividad GPRS y reenvío automático posterior.
- 3.2. Verificar que no haya duplicación ni pérdida de eventos con distintos volúmenes de tráfico.
- 3.3. Verificar saturación de la cola y descarte correcto de eventos.
- 3.4. Probar recepción de comandos desde el servidor y respuesta correcta.
- 3.5. Verificar que la API REST consuma correctamente los eventos desde MQTT.
- 3.6. Probar que la interfaz web reciba eventos en tiempo real o los consulte en el backend.

## 4. Requerimientos de interfaz:

- 4.1. La interfaz web debe ser accesible desde cualquier navegador moderno.
- 4.2. La interfaz debe tener una tabla o lista para visualizar los eventos de tránsito.
- 4.3. La interfaz debe permitir enviar comandos a dispositivos mediante un formulario o botón.

## 5. Requerimientos de interoperabilidad:

- 5.1. El sistema debe poder comunicarse con un broker MQTT externo configurable.
- 5.2. El protocolo MQTT texto delimitado según acordado con el backend.

## 6. Requerimientos de seguridad

- 6.1. La conexión MQTT debe incluir autenticación por credenciales.
- 6.2. La API REST debe requerir autenticación para el envío de comandos o consulta de datos.

## 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

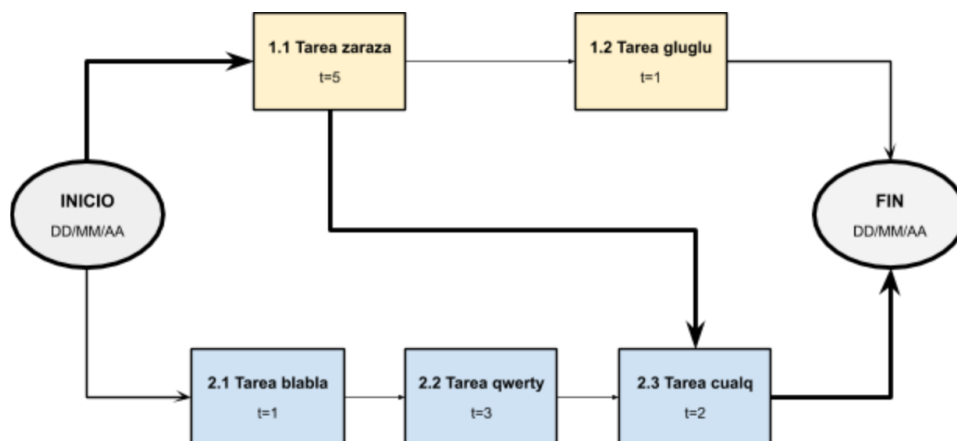


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

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.

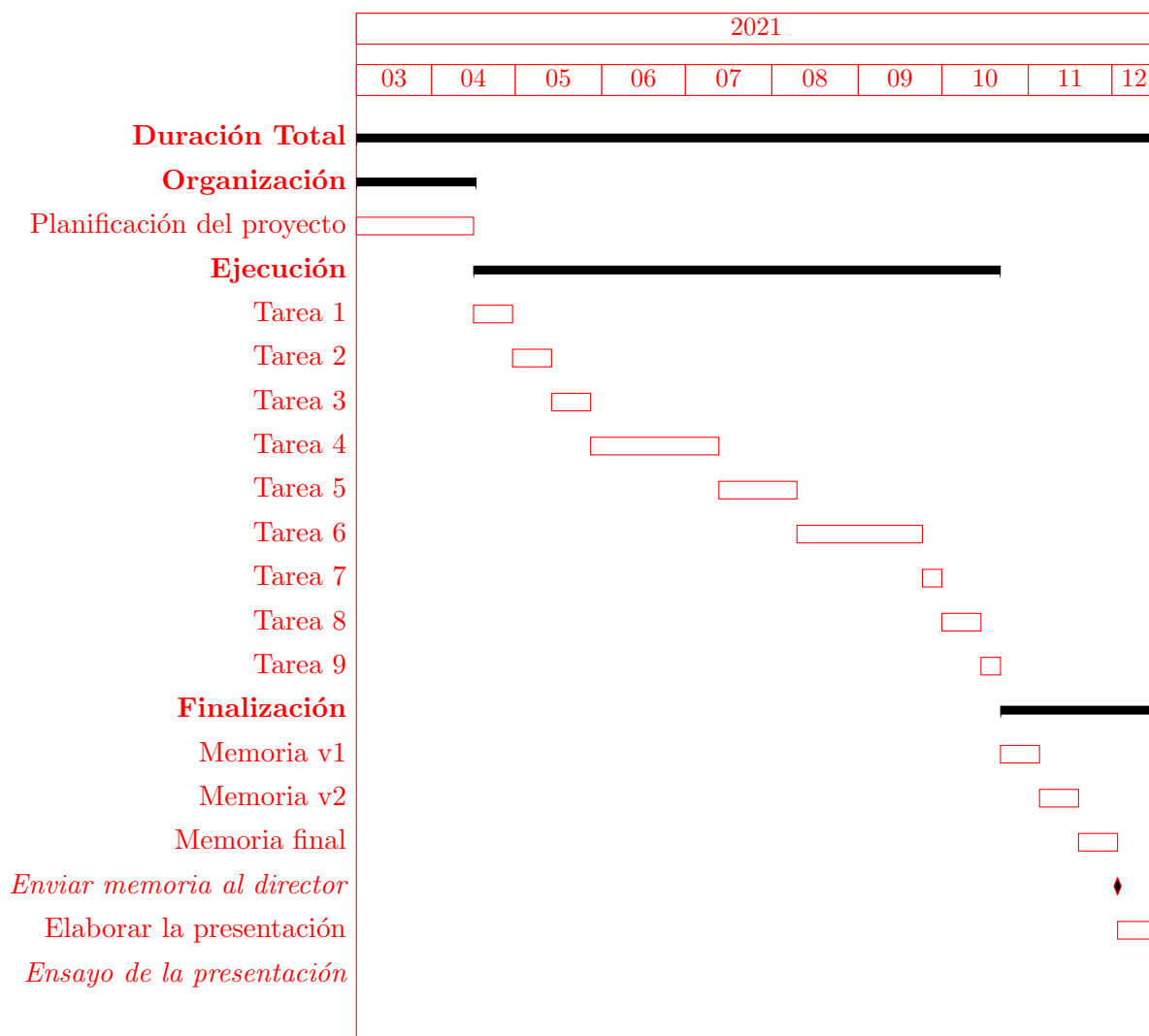


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

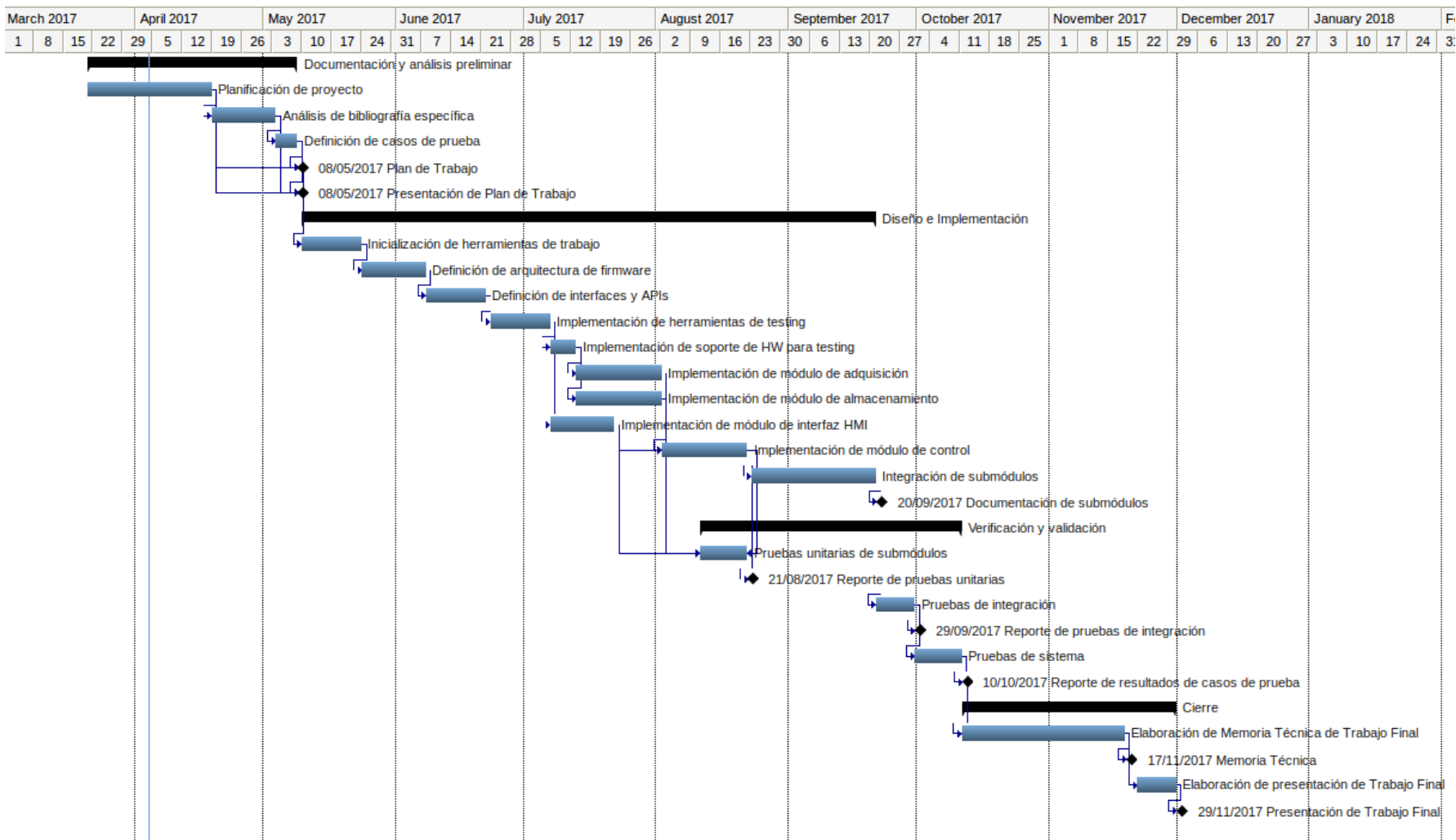


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

## 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...



- 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.