



Sistema modular para monitoreo y control industrial con comunicación inalámbrica y capacidades de automatización embebida

Autor:

Ing. Kirschner Lucas Sebastián

Director:

Mgtr. Ing. Fernández Guillermo Alfredo (FIO - UNaM)

Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos entre el 29 de abril de 2025 y el 17 de junio de 2025.

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	7
3. Propósito del proyecto	8
4. Alcance del proyecto	8
5. Supuestos del proyecto.	9
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.	11
11. Diagrama de Gantt	12
12. Presupuesto detallado del proyecto	15
13. Gestión de riesgos	15
14. Gestión de la calidad	16
15. Procesos de cierre	17

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	29 de abril de 2025
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	12 de mayo de 2025

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 29 de abril de 2025

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Kirschner Lucas Sebastián que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema modular para monitoreo y control industrial con comunicación inalámbrica y capacidades de automatización embebida” y consistirá en el desarrollo de un sistema distribuido conformado por una estación central y múltiples estaciones remotas, para facilitar la adquisición de datos de campo, el control de actuadores y la comunicación eficiente en entornos industriales donde las soluciones cableadas resultan poco prácticas o costosas. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar de 600 horas y un costo estimado de \$ 11.000.000,00, con fecha de inicio el 29 de abril de 2025 y fecha de presentación pública el 27 de abril de 2026.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Representante de PyME industrial del sector manufacturero
Industria tipo con bajo nivel de automatización

Mgtr. Ing. Fernández Guillermo Alfredo
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema modular para monitoreo y control industrial, con capacidades de automatización embebida y comunicación inalámbrica. Se trata de un emprendimiento personal, motivado por la necesidad detectada en industrias con baja adopción tecnológica y limitada conectividad cableada, que requieren soluciones ágiles, adaptables y robustas para mejorar sus procesos productivos.

En el contexto actual, muchos sistemas de automatización industrial están diseñados para instalaciones específicas. Sus arquitecturas suelen ser rígidas y presentan escasa capacidad de adaptación a entornos cambiantes o geográficamente dispersos. Las soluciones tradicionales dependen en gran medida de infraestructura cableada, lo cual representa una limitación significativa en entornos donde el tendido de cables es costoso o impracticable. En contraste, este proyecto se enfoca en brindar una alternativa distribuida y escalable, basada en tecnologías modernas de microcontroladores, comunicación inalámbrica y diseño modular.

La solución propuesta contempla una arquitectura distribuida compuesta por una estación central y múltiples estaciones remotas. La estación central se construirá en torno a un microcontrolador de altas prestaciones (por ejemplo, ARM Cortex-M7 o M33), con capacidad para ejecutar múltiples tareas con restricciones temporales mediante un sistema operativo en tiempo real (*Real-Time Operating System*, RTOS). Integrará una interfaz Ethernet para conexión con sistemas de supervisión y control, tales como plataformas *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), y una interfaz inalámbrica de alta confiabilidad para comunicarse con las estaciones remotas. También contará con un reloj en tiempo real (*Real-Time Clock*, RTC) para mantener el registro horario, y se evaluará el uso de *Power over Ethernet* (PoE) como alternativa de alimentación.

Las estaciones remotas estarán equipadas con microcontroladores de menores recursos (como ARM Cortex-M3 o M4), orientados a la adquisición de señales y a la activación de actuadores en campo. Contarán con entradas y salidas digitales industriales, adecuadas para la conexión de sensores discretos y dispositivos como relés o contactores, así como una interfaz de comunicación industrial, como por ejemplo RS485, que permita la integración con diversos equipos del entorno. La comunicación con la estación central se realizará mediante un enlace inalámbrico confiable. Estas estaciones estarán diseñadas para operar en entornos exigentes, alimentadas desde la red eléctrica de 220 V, con la posibilidad de integrar baterías de respaldo para asegurar continuidad operativa.

Desde el punto de vista del software, se implementará una arquitectura por capas que permita separar claramente las funciones de bajo nivel (controladores, comunicación, gestión de entradas/salidas) de la lógica de aplicación. Se proveerá una interfaz de programación de aplicaciones (*Application Programming Interface*, API) que facilite el desarrollo de soluciones específicas sobre la plataforma base. Este enfoque modular permitirá escalar el sistema según las necesidades, incorporar nuevas estaciones o funcionalidades sin rediseñar el conjunto, y facilitar su mantenimiento y extensión futura.

La propuesta se destaca por su flexibilidad, escalabilidad y adaptabilidad. Frente a las soluciones actuales, que suelen ser cerradas y costosas, este proyecto plantea un sistema abierto y personalizable, orientado a pequeñas y medianas industrias que requieren soluciones específicas sin incurrir en altos costos de integración.

La figura 1 presenta el diagrama en bloques del sistema propuesto, el cual resume visualmente la arquitectura distribuida planteada. Se distinguen claramente la estación central, con su microcontrolador de altas prestaciones, las interfaces de comunicación (Ethernet e inalámbrica) y las opciones de alimentación (PoE o red eléctrica), y las estaciones remotas, dotadas de entradas y salidas digitales industriales, interfaz inalámbrica y comunicación serie robusta para dispositivos de campo.

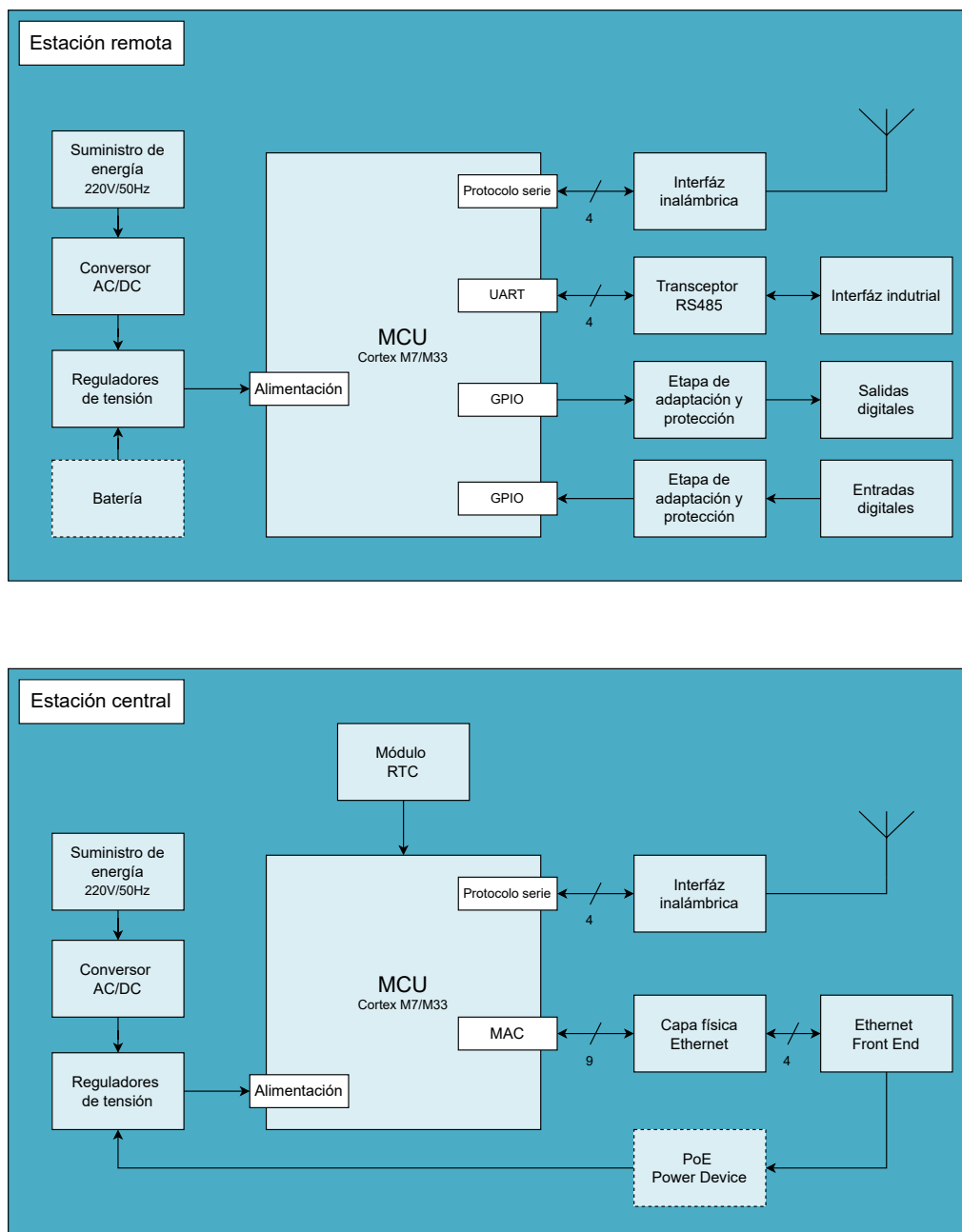


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

2. Identificación y análisis de los interesados

A continuación, se identifican los principales interesados del proyecto, detallando sus roles, vínculos con el desarrollo y nivel de participación esperado.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	-	Industria tipo con bajo nivel de automatización	Representante de PyME industrial del sector manufacturero
Responsable	Ing. Kirschner Lucas Sebastián	FIUBA	Alumno
Orientador	Mgtr. Ing. Fernández Guillermo Alfredo	FIO - UNaM	Director del Trabajo Final
Opositores	-	Fabricantes e integradores tradicionales de PLC	Actores con intereses en soluciones cableadas tradicionales
Usuario final	-	Industria genérica	Operadores y encargados de mantenimiento

- **Cliente:** Representado por industrias con baja incorporación tecnológica y limitada infraestructura de conectividad. Este tipo de organización busca soluciones que le permitan modernizar sus procesos productivos sin necesidad de realizar grandes inversiones en cableado o infraestructura física. Valora la simplicidad en la implementación, la escalabilidad y la robustez de los sistemas.
- **Responsable:** El autor del proyecto, Ing. Lucas Sebastián Kirschner, asume la responsabilidad sobre el mismo. Tiene a su cargo el diseño, implementación, validación y documentación del sistema, así como la planificación y ejecución del trabajo dentro de los plazos establecidos.
- **Orientador:** El Mgtr. Ing. Guillermo Alfredo Fernández es profesor titular e investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (FIO - UNaM), con una reconocida trayectoria en sistemas embebidos aplicados a energías renovables y automatización. Su rol es fundamental para validar las decisiones técnicas, guiar metodológicamente el desarrollo y asegurar el rigor académico del trabajo final.
- **Opositores:** Fabricantes de PLC convencionales e integradores de soluciones cableadas que podrían ver afectada su posición en el mercado ante la aparición de propuestas modulares, económicas y de implementación más ágil como la que plantea este proyecto. Esta oposición potencial se da principalmente en entornos donde la adopción de nuevas tecnologías no forma parte del modelo de negocio tradicional.
- **Usuario final:** Personal técnico de planta, incluyendo operarios, encargados de mantenimiento y supervisores de proceso. Interactuarán con el sistema para monitorear variables de proceso y controlar dispositivos industriales. Se prioriza la facilidad de uso, confiabilidad operativa y adaptación a diferentes entornos industriales.

3. Propósito del proyecto

Desarrollar una solución modular y escalable que permita monitorear y controlar procesos industriales en entornos con baja infraestructura de conectividad, mediante una arquitectura distribuida que combine estaciones centrales y remotas interconectadas por enlaces inalámbricos confiables. La iniciativa surge como respuesta a la necesidad de automatización en industrias que presentan limitaciones técnicas, económicas o geográficas para implementar sistemas cableados convencionales, y busca facilitar la recolección de datos de campo, la activación de actuadores y la implementación de lógica de control adaptada a cada caso.

4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- El diseño y construcción de un prototipo funcional de la estación central, basada en un microcontrolador de altas prestaciones con capacidad para ejecutar un sistema operativo de tiempo real (RTOS).
- El diseño y fabricación de al menos dos prototipos funcionales de estaciones remotas, con interfaces para la conexión de sensores y actuadores industriales.
- El diseño e implementación de la arquitectura de alimentación, contemplando el uso de PoE como opción de suministro para la estación central y la incorporación de baterías de respaldo en las estaciones remotas.
- El desarrollo del firmware de bajo nivel para la inicialización de periféricos, gestión de comunicaciones y manejo de entradas/salidas en ambas estaciones.
- La implementación de una API modular que abstraiga la complejidad del hardware y facilite la adaptación del sistema a distintos procesos industriales.
- La validación funcional de los módulos mediante pruebas controladas que simulen condiciones reales del entorno industrial.

El presente proyecto no incluye:

- El desarrollo de una interfaz gráfica de supervisión (HMI/SCADA).
- La integración con sistemas productivos reales de empresas externas.
- La incorporación de inteligencia artificial embebida, aunque se considera su viabilidad para futuras etapas.
- El diseño de encapsulados o gabinetes industriales, más allá de criterios básicos de disposición y conexión.
- La certificación del producto para entornos industriales normados.
- La obtención de un sistema final manufacturable, dado que el proyecto se limita a la construcción y validación de prototipos funcionales.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se dispondrá de tiempo suficiente por parte del responsable para cumplir con las actividades planificadas.
- Se podrán adquirir los componentes electrónicos necesarios en el mercado local o internacional, sin demoras significativas ni incrementos abruptos de costos.
- No se presentarán restricciones legales, regulatorias o normativas que impidan la realización del proyecto o el uso de tecnologías previstas.
- No habrá una devaluación abrupta que comprometa la adquisición de insumos clave o el cumplimiento del presupuesto estimado.
- La tecnología inalámbrica seleccionada será factible de implementar con los recursos disponibles y adecuada para el tipo de comunicación requerida entre estaciones.
- El entorno de prueba seleccionado permitirá validar adecuadamente el funcionamiento del sistema en condiciones representativas.
- Se contará con acceso a herramientas y bibliografía técnica suficiente para el diseño, implementación y validación del sistema.
- El desarrollo del firmware y la arquitectura modular prevista podrán implementarse con herramientas de software disponibles sin incurrir en costos adicionales significativos.

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

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.



Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

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

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

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

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

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

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.

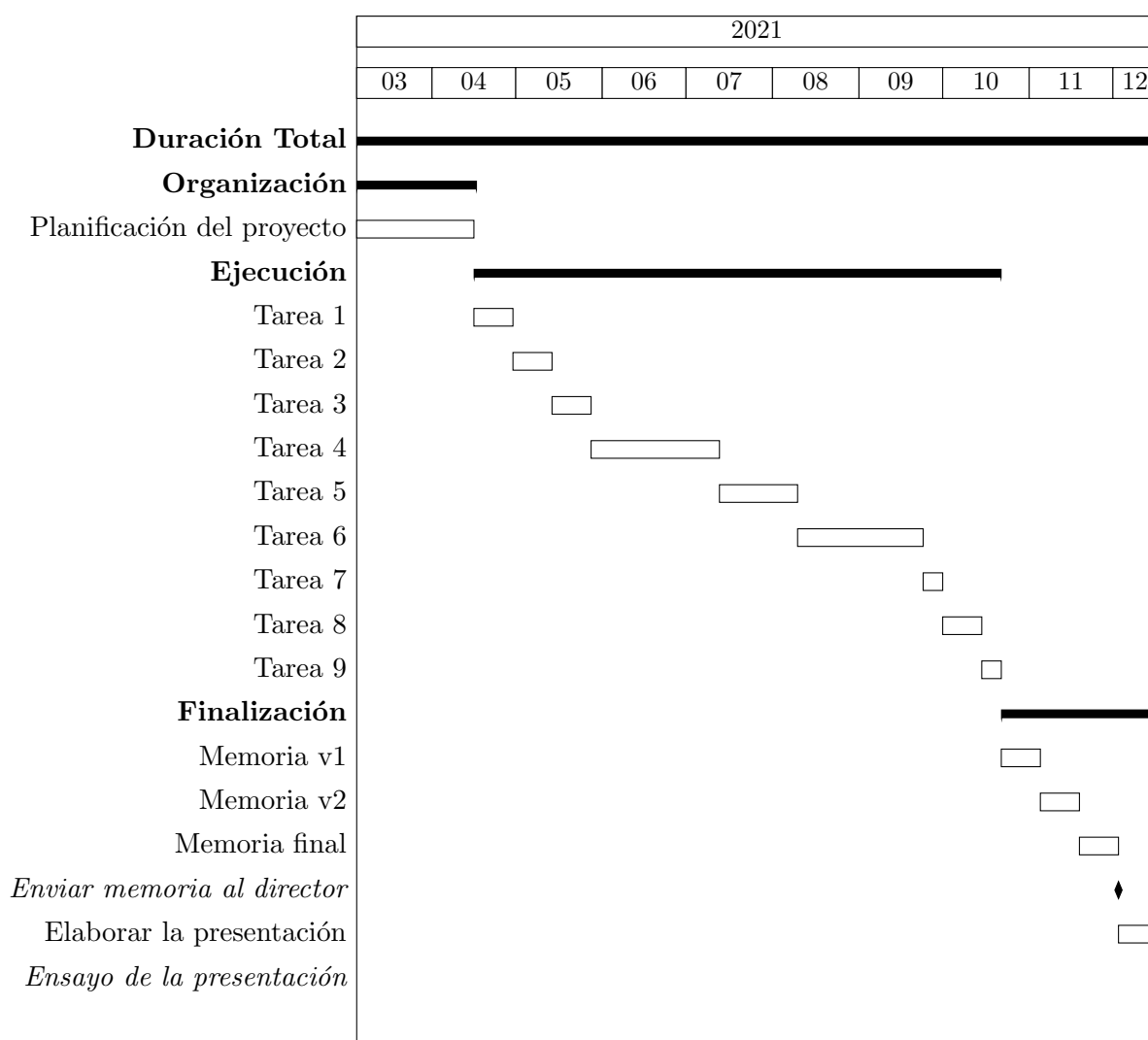


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

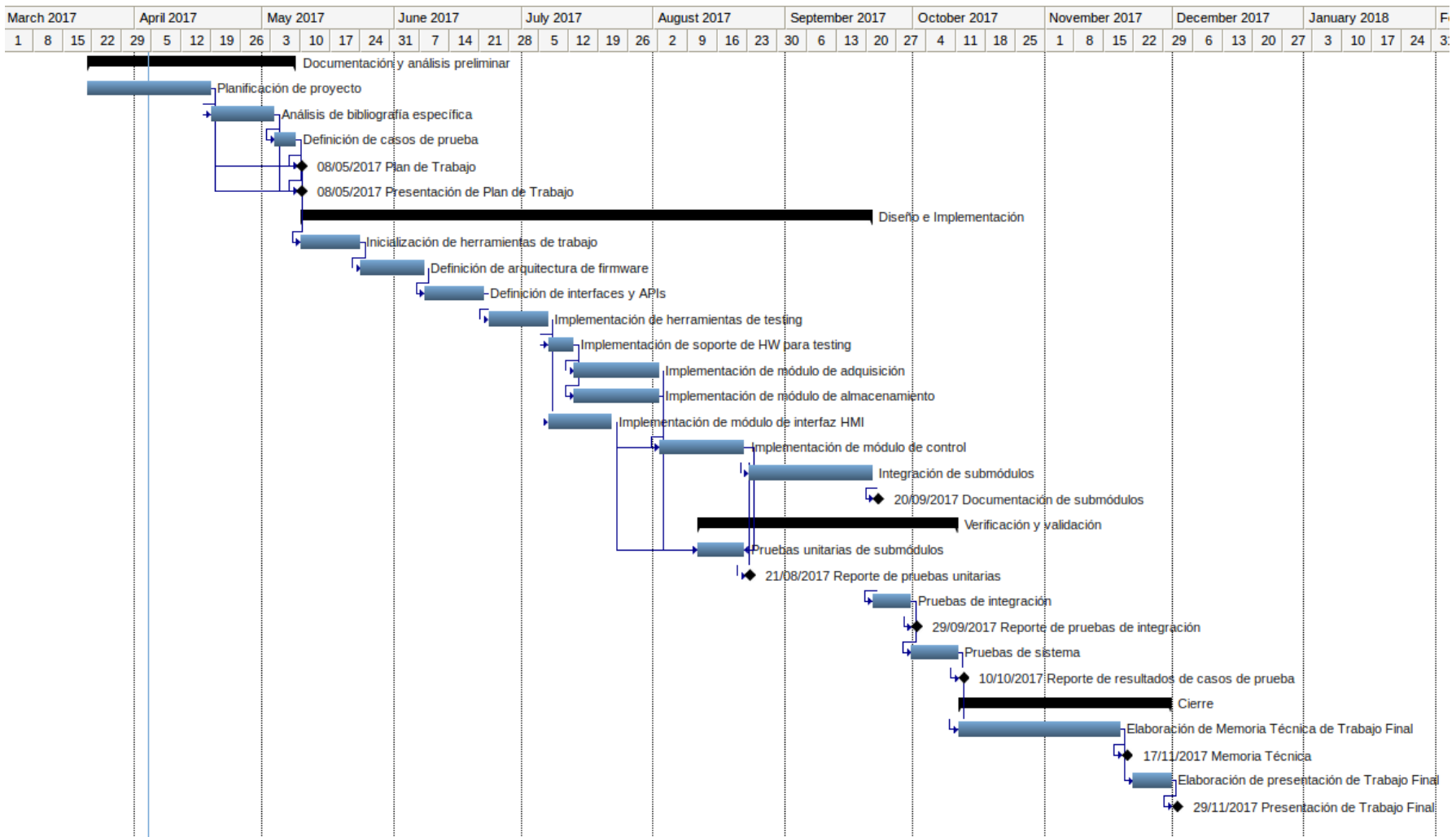


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

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 $RPN=S \times O$)

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.