



Sistema de adquisición de imágenes con sensor lineal de carga acoplada para aplicación en mediciones a distancia

Autor:

Dr. Ing. Jacobo O. Salvador

Director:

Mg. Ing. Lucio Martínez Garbino (CNEA)

Codirector:

Esp. Ing. Gonzalo Lavigna (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 22 de octubre de 2021 y el 9 de diciembre de 2021.*

Índice

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

Registros de cambios

| Revisión | Detalles de los cambios realizados | Fecha |
|----------|--|-----------------------|
| 0 | Creación del documento | 22 de octubre de 2021 |
| 1 | Se completa hasta el punto 5 inclusive | 04/11/2021 |
| 2 | Se completa hasta el punto 9 inclusive. Correcciones hasta punto 5 | 09/11/2021 |

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 22 de octubre de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Dr. Ing. Jacobo O. Salvador que su Trabajo Final de la Maestría en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de adquisición de imágenes con sensor lineal de carga acoplada para aplicación en mediciones a distancia”, consistirá esencialmente en el desarrollo e implementación de un prototipo de sistema de adquisición de imágenes por medio de un sensor lineal de carga acoplada, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y \$100000, con fecha de inicio 22 de octubre de 2021 y fecha de presentación pública 15 de mayo de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Mg. Ing. Rafael Oliva Beltran
L&R Ingeniería

Mg. Ing. Lucio Martínez Garbino
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Este trabajo final consiste en el desarrollo e implementación de un prototipo de sistema de adquisición de imágenes por medio de un sensor lineal de carga acoplada. El dispositivo tiene aplicación en el campo de mediciones remotas para seguimiento en el tiempo de objetos desde el orden de micrones a centímetros.

Un sensor lineal por cargas acopladas o CCD en inglés se compone de un arreglo de sensores dispuestos en forma equidistante y de tamaño fijo que puede tener una disposición lineal o rectangular dependiendo de su diseño o aplicación. El principio de su funcionamiento se centra en acumular cargas como resultado de la interacción de la luz con la materia. Una interfaz recolecta la información analógica para su tratamiento digital.

En los últimos años, debido al avance tecnológico se pudo incrementar el orden de integración de los sensores acoplados y aumentar su sensibilidad. Estos sensores encuentran aplicaciones en dispositivos como cámaras, lectores de código, espectrómetros y en ramas de la ciencia como la astronomía, el procesamiento de imágenes, aprendizaje supervisado, etc.

Por su bajo costo, confiabilidad y disponibilidad, los sensores de carga acoplada encontraron aplicaciones en el campo de las mediciones remotas o a distancia. Esto permitió reducir fuertemente los costos de desarrollo e implementación de nuevos sensores. Sin dudas, esto representa tanto un desafío como también una oportunidad para que nuevas tecnologías puedan desarrollarse.

Un sistema basado en la técnica LiDAR (*Light Detection and Ranging*) para medir distancias de objetos funciona en su mayoría enviando pulsos cortos de luz y midiendo su reflexión. Su costo de desarrollo e implementación puede variar desde cientos de dólares a decenas de miles. La utilización de sensores acoplados permite reducir en un factor de diez o más los costos, debido a la reducción en los requerimientos funcionales del sistema de emisión y adquisición.

En la Figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema. Se observa que el sistema de medición remoto se compone de un emisor y una cámara.

La cámara utiliza un sensor de carga acoplada como sensor de la luz entrante a través de la lente. La información colectada se traduce en una imagen y un sistema compuesto por un conversor analógico digital y un conjunto de compuertas lógicas programables es responsable de digitalizar la señal, controlar el sensor y realizar el procesamiento de datos. El dato procesado se envía a una aplicación en la computadora responsable de la recopilación y seguimiento de las mediciones. La continua adquisición de medidas en el tiempo construye un conjunto de imágenes dispuestas en un arreglo lineal de filas y columnas.

En el mercado existen dispositivos que permiten controlar y adquirir imágenes con un sensor de cargas acopladas, pero son insuficientes cuando se desea hacer procesamiento de los datos en tiempo real y en el mismo dispositivo donde se generan los datos.

El presente proyecto se destaca especialmente por incorporar un módulo de procesamiento embebido en la unidad de control que permite hacer operaciones estadísticas y reducir carga de procesamiento en la computadora. Este concepto se relaciona con la definición de *Edge Computing*, donde el procesamiento se realiza cerca del origen de los datos. Esta característica nueva se diferencia de otros dispositivos en el mercado que hacen sus análisis una vez que la señal se almacenó, sin cumplir con requerimientos de procesamiento en tiempo real.

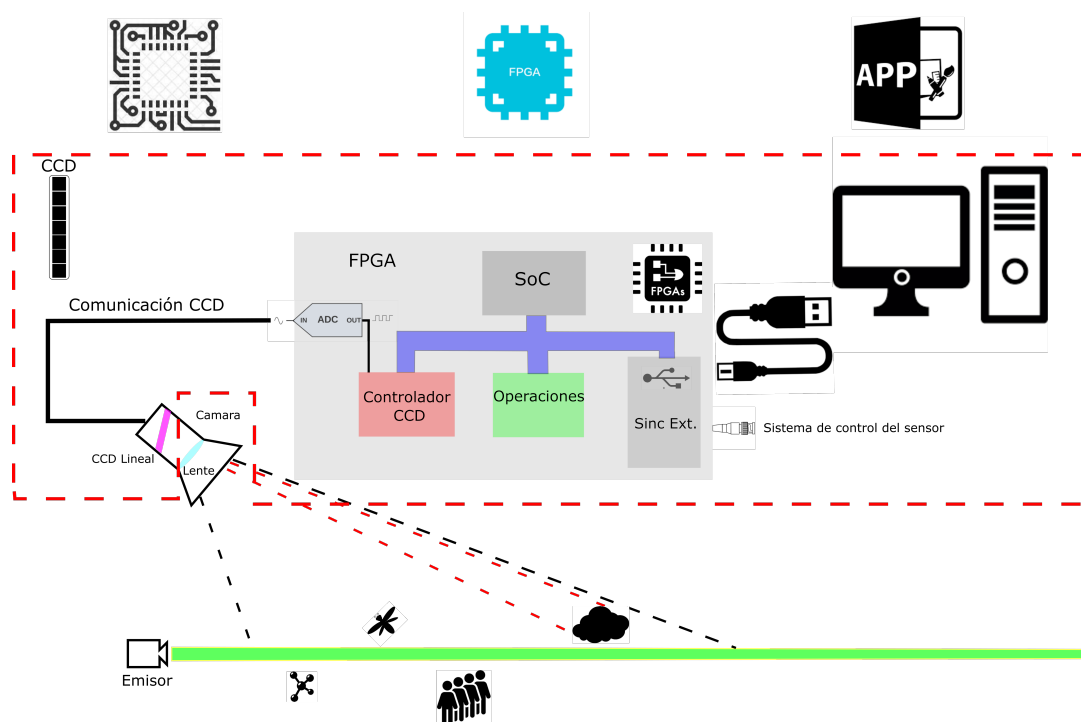


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema. El área delimitada por la línea con guiones rojos representa el alcance de este proyecto

2. Identificación y análisis de los interesados

| Rol | Nombre y Apellido | Organización | Puesto |
|---------------|---|----------------|------------------------|
| Auspiciante | Mg. Ing. Rafael Oliva Beltran | L&R Ingeniería | Jefe |
| Cliente | Mg. Ing. Rafael Oliva Beltran | L&R Ingeniería | Jefe |
| Impulsor | Dra Sandra Casas | UNPA-UARG | Directora ITA |
| Responsable | Dr. Ing. Jacobo O. Salvador | CONICET | Alumno |
| Colaboradores | Esp. Ing Gonzalo Lavigna | FIUBA | Codirector |
| Orientador | Mg. Ing. Lucio Martínez Garbino | CNEA | Director Trabajo final |
| Equipo | Ing. Jonathan Quiroga Florescia Luna | UNPA-UARG | Investigador |
| Usuario final | Tec. Nahuel Diaz | CPA-CONICET | Técnico operador |

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es generar el diseño y la implementación de un dispositivo de carga acoplada mediante la utilización de un arreglo de compuertas que permita incluir el control del dispositivo sensor por medio de una interfaz.

Se pretende lograr que el procesamiento intensivo de las señales se realice en el dispositivo de control a través de un sistema embebido que permita incrementar la integración y reducir la carga de procesamiento en la computadora.

Las aplicaciones de este tipo de sensor en conjunto con un sistema óptico pueden cubrir un amplio rango de aplicaciones en el campo del sensado remoto.

Un objetivo adicional es lograr que el sistema sea escalable a otros sensores de la familia que se utilice.

4. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluye:

- Diseño y elaboración de una placa de montaje superficial para instalar el sensor de imagen.
- Integración del hardware de control embebido en una placa FPGA.
- Selección del sensor de imagen según requerimientos del cliente
- Desarrollo del software para captura de datos y almacenamiento de la información en una computadora.
- Documentación

El presente proyecto no incluye especificaciones mecánicas de movimiento y manipulación del dispositivo.


5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se contará con disponibilidad horaria
- Se contará con las herramientas de hardware y software desde el inicio del proyecto
- Se contará con el apoyo financiero durante todo el desarrollo
- Se contará con posibilidad de conseguir el sensor óptico y la placa FPGA

6. requerimientos

1. Requerimientos diseño

 El sensor lineal es montado en una placa con componente superficiales

1.2.  placa  conecta con el sistema embebido por un cable  flex

2. Requerimientos del sistema embebido

- 2.1. El sistema tiene como ritmo 2000 Hz por segundo
 - 2.2. El controlador embebido genera las señales de control y datos hacia el sensor
 - 2.3. Un SoC es el responsable del flujo de datos dentro de la FPGA
 - 2.4. Un bloque de operaciones, paraleliza cálculos
 - 2.5. El sistema embebido debe calcular valores estadísticos: máximos, mínimos, mediana y el rango intercuartil sobre el arreglo de datos
 - 2.6. Los procesados se envía a la PC
 - 2.7. La comunicación con PC se realiza por USB
3. Requerimientos de interfaz
 - 3.1. Configuración tiempo de integración del sensor
 - 3.2. Configuración frecuencia de adquisición.
 - 3.3. La interfaz colecta datos del sistema embebido en tiempo real
 - 3.4. La interfaz debe mostrar la señal con sus valores estadísticos en tiempo real
4. Requerimientos de documentación
 - 4.1. El proyecto se documenta con control de versiones
5. Requerimiento de testing
 - 5.1. Se caracteriza la medición el uso de filtros frente al sensor y ejecutando mediciones continuas
 - 5.2. Firmware se caracteriza por uso de testbench en Vivado-SDK combinado con herramienta ILA Debugging
6. Requerimientos de la interfaz
 - 6.1. Comunicación con PC a través de puerto USB
 - 6.2. La aplicación en PC almacena y visualiza los datos
 - 6.3. La interfaz debe mostrar estimadores como la mediana, valores máximos y mínimos de la señal.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Como cliente quiero que la adquisición de imágenes tenga la posibilidad de realizar análisis de los datos en el propio sistema. Existen en el mercado diversos sistemas que adquieren imágenes. En la mayoría el controlador pasa la información digitalizada hacia la PC. Deseo que el sistema a desarrollar posea el cálculo de métricas estadísticas embebidos en el controlador y que disminuyan el tiempo de procesamiento en la PC. La base del puntaje es 6, lo cual se considera la capacidad de entregar datos del sistema. Cada característica adicional de procesamiento tendrá un punto positivo por encima del puntaje base.

8. Entregables principales del proyecto


Los entregables del proyecto son:

- Manual de uso
- Diagrama de circuitos esquemáticos
- Código fuente del firmware y testbench
- API del software para integrar con diferentes sensores
- Informe final


9. Desglose del trabajo en tareas


1. Preparación entorno de trabajo

- 1.1. Búsqueda de bibliografía sobre sistemas similares (20 hs)
- 1.2. Búsqueda de materiales (20 hs)
- 1.3. Instalación herramientas de trabajo (10 hs)

 Total: (50 hs)

2. Diseño placa sensor y controlador

- 2.1. hematice placa de montaje superficial (40 hs)
- 2.2. Selección de componentes (30 hs)
- 2.3. Ruteo de placa (30 hs)
- 2.4. Diseño controlador en el sistema embebido (30 hs)
- 2.5. Evaluación del controlador mediante banco de pruebas (20 hs)
- 2.6. Consulta con los supervisores del trabajo (5 hs)


 Total: (155 hs)

3. Prueba placa módulos sensor

- 3.1. Interconexión del módulo con FPGA (20 hs)
- 3.2. Evaluar comunicación entre sensor y FPGA (20 hs)
- 3.3. Enviar datos desde el sistema embebido a la PC (20 hs)
- 3.4. Consulta con los supervisores del trabajo (5 hs)

3.5. Total: (65 hs)

4. Módulo **cálculo estadísticos**

- 4.1. Estudiar la forma óptima de implementar bloque (20 hs)
- 4.2. Incorporar un SoC y controlar el flujo de datos entre bloques (40 hs)
- 4.3. Implementar bloque de **cálculo de estadísticos**, paralelizable (40 hs)

4.4. Integración de bloques (40 hs)

4.5. Consulta con los supervisores del trabajo (5 hs)

4.6. Total: (145 hs)

5. Interfaz

5.1. Desarrollo de interfaz en Python con control del sensor y sistema embebido (tiempo de integración, frecuencia de trabajo) (40 hs)

5.2. Documentación de código (20 hs)

5.3. Integración de bloques (40 hs)

5.4. Consulta con los supervisores del trabajo (5 hs)

☰ Total: (105 hs)

6. Gestión

6.1. Planificación del trabajo final (30 hs)

6.2. Informes regulares de avances (10 hs)

6.3. Confección de la memoria de trabajo (30 hs)

6.4. Presentación y defensa del trabajo final (20 hs)

6.5. Consulta con los supervisores del trabajo (10 hs)

6.6. Total: (100 hs)

Cantidad total de horas: (620 hs)

10. Diagrama de Activity On Node

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

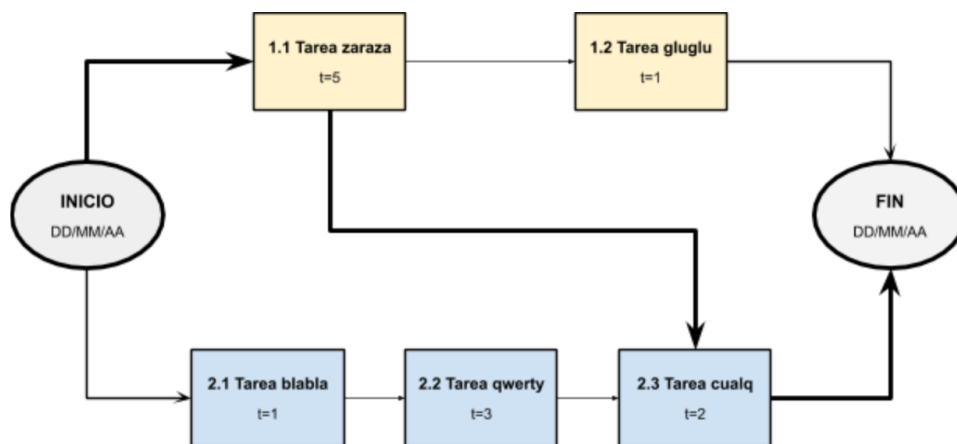


Figura 2. Diagrama en *Activity on Node*

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semicríticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color, como se muestra en el siguiente ejemplo:

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.

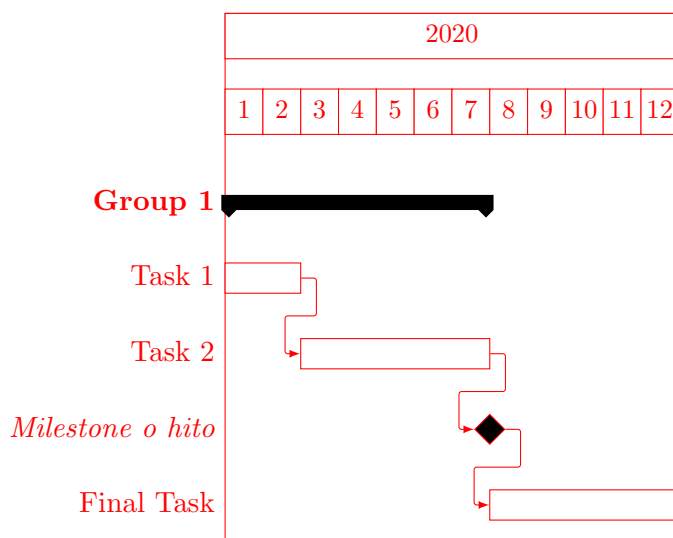


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

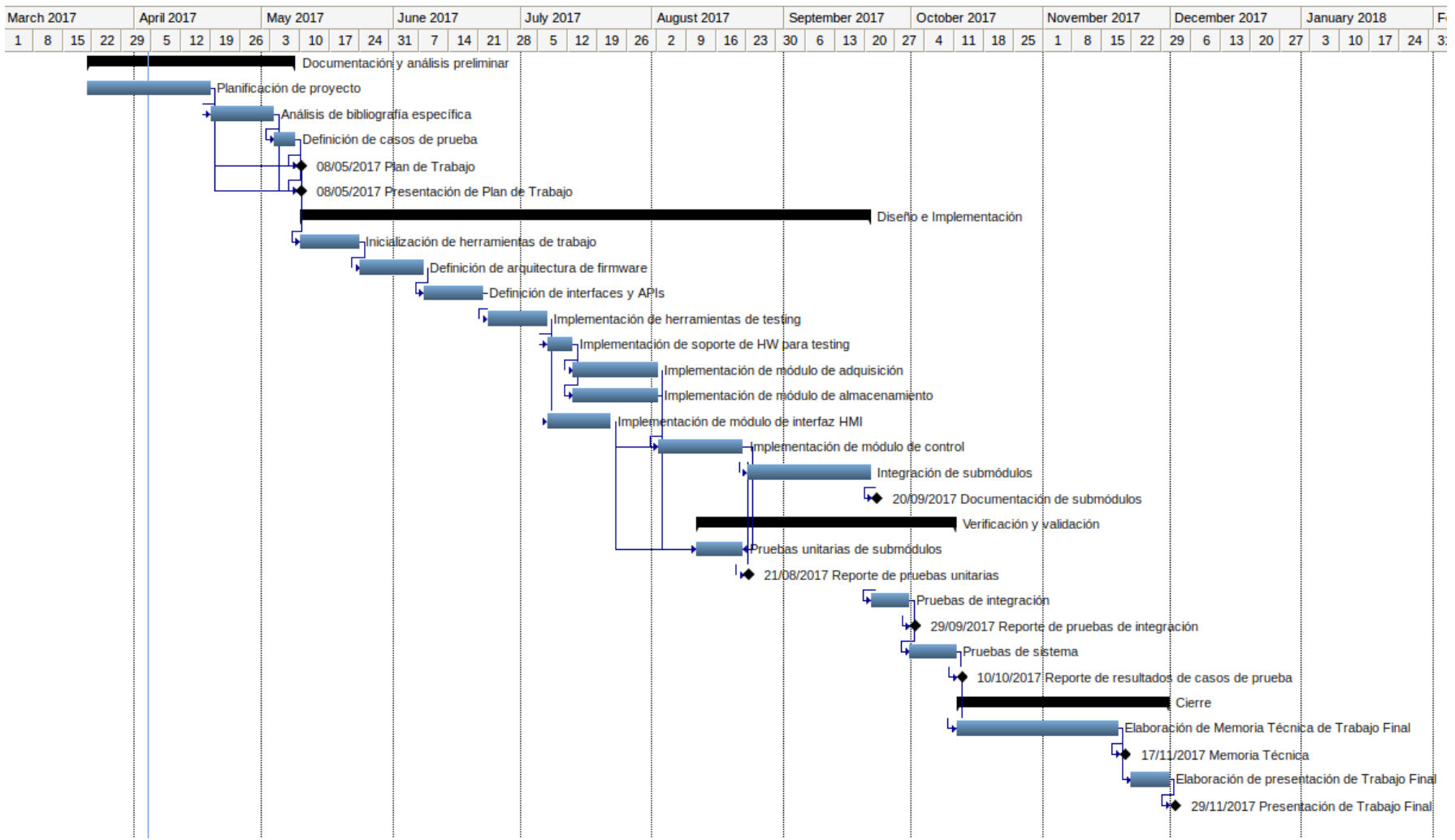


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt rotado

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**.

| 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):
- Ocurrencia (O):

Riesgo 3:

- Severidad (S):

■ Ocurrencia (O):

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

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: copiar acá el requerimiento.
 - 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, y 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.