



# Desarrollo de un controlador para un sensor lineal de carga acoplada con 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> ). . . . .	9
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 . . . . .	14
13. Gestión de riesgos . . . . .	14
14. Gestión de la calidad . . . . .	15
15. Procesos de cierre . . . . .	16

## 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 4 inclusive	04/11/2021
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	09/11/2021

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 22 de octubre de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Dr. Ing. Jacobo O. Salvador que su Trabajo Final de la Maestría en Sistemas Embebidos se titulará “Desarrollo de un controlador para un sensor lineal de carga acoplada con 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 resultante 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 permitió incrementar el orden de integración de los sensores acoplados y aumentar su sensibilidad. Estos sensores encuentran aplicaciones en dispositivos como cámaras, lectores de código, espectrometros 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 fuerte los costos de desarrollo e implementación de nuevos sensores. Sin dudas esto representa 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 reflejo. Su costo de desarrollo e implementación puede variar desde cientos de dólares a decenas de miles. La utilización de sensores acoplados permiten reducir en un factor de diez o mas 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.

Esta 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 digital basado en un arreglo de compuerta 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 va armando 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 acopladores, pero son insuficientes cuando se desea hacer procesamiento de los datos en tiempo real.

El presente proyecto se destaca especialmente por incorporar un modulo de procesamiento embebido en la unidad de control que permite hacer operaciones estadísticas sobre la misma y reducir carga de procesamiento en la computadora. Esta característica nueva se diferencia de otros dispositivos en el mercado que hacen sus análisis una vez que la señal se almacena, no pudiendo cumplir con requerimientos de procesamiento en tiempo real.

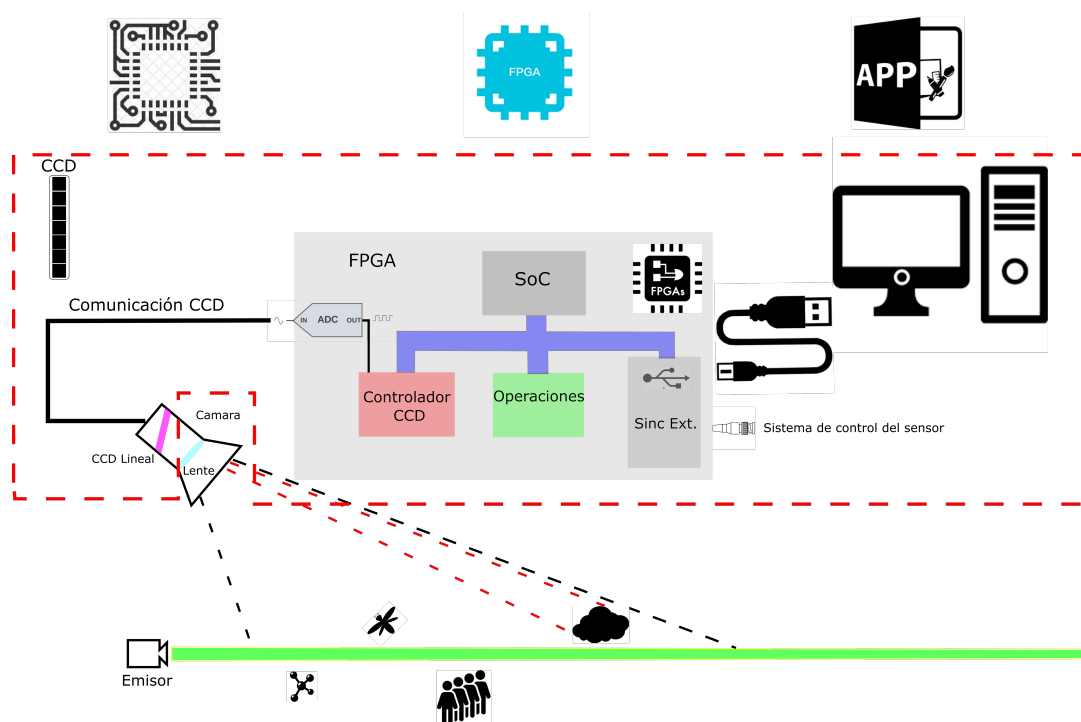


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema. El área delimitada por la línea con guiones rojos representa el alcance de este proyecto

## 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 Florencia 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 superior 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**

Los requerimientos deben numerarse y de ser posible estar agruparlos por afinidad, por ejemplo:

##### **1. Requerimientos diseño**

##### **1.1. El sensor lineal es montado en una placa con componente superficiales**

- 1.2. La placa se conecta con el sistema embebido por un cable flex
2. Requerimientos del sistema embebido
  - 2.1. El sistema adquiere como máximo 2000 líneas 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. Datos procesados se envía a la PC
  - 2.7. 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 senial.
7. Requerimientos interoperabilidad...
8. 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.

El formato propuesto es: como [rol] quiero [tal cosa] para [tal otra cosa].”

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

## 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

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. Preparación entorno de trabajo
  - 1.1. Búsqueda de bibliografía sobre sistemas similares (20 hs)
  - 1.2. Búsqueda de materiales (10 hs)
  - 1.3. Instalación herramientas de trabajo (10 hs)
2. Diseño placa sensor y controlador
  - 2.1. Esquematice placa de montaje superficial (25 hs)
  - 2.2. Selección de componentes (10 hs)
  - 2.3. Ruteo de placa (15 hs)
  - 2.4. Diseño controlador en el sistema embebido
  - 2.5. Evaluación del controlador mediante banco de pruebas

### 3. Prueba placa módulos sensor

- 3.1. Interconexión del modulo con FPGA (5 hs)
- 3.2. Comunicación entre sensor y FPGA (20 hs)
- 3.3. Enviar datos desde el sistema embebido a la PC (20 hs)

### 4. Módulo de estadísticos

- 4.1. Incorporar un SoC y controlar el flujo de datos (20 hs)
- 4.2. implementar bloque de calculo de estadísticos, paralelizable (20 hs)
- 4.3. Integración de bloques (20 hs)

### 5. Interfaz

- 5.1. Desarrollo de interfaz en Python con control del sensor y sistema embebido (tiempo de integración, frecuencia de trabajo) (20 hs)
- 5.2. implementar bloque de calculo de estadísticos, paralelizable (20 hs)
- 5.3. Integración de bloques (20 hs)

### 6. Gestión

- 6.1. Planificación del trabajo final (20 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)

Cantidad total de horas: (600 hs)

Se recomienda que no haya ninguna tarea que lleve más de 40 hs.

## 10. Diagrama de Activity On Node

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

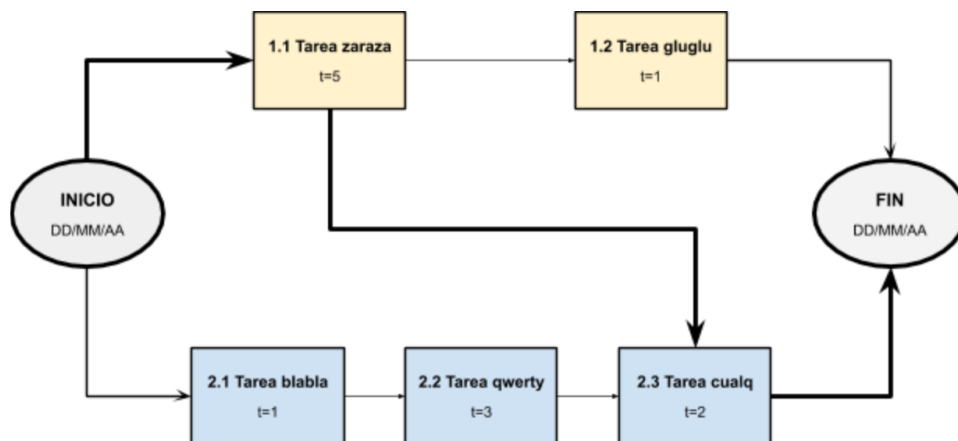


Figura 2. Diagrama en *Activity on Node*

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.

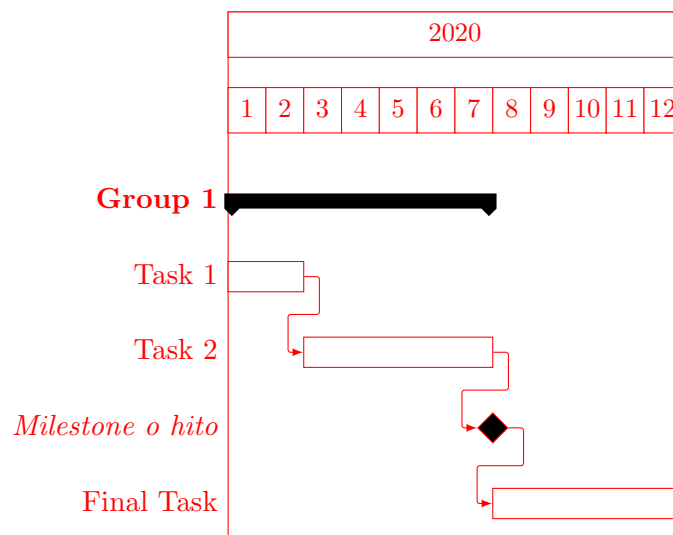


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo



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.