



Tester para amplificador de fibra óptica

Autor:

Ing. Lucas Constantino

Director:

Dr. Ing. Alejandro Ghersin (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 1 de Marzo de 2022 y el 18 de junio de 2022.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	6
3. Propósito del proyecto	7
4. Alcance del proyecto	7
5. Supuestos del proyecto.	7
6. Requerimientos	8
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	9
8. Entregables principales del proyecto	10
9. Desglose del trabajo en tareas	10
10. Diagrama de Activity On Node.	12
11. Diagrama de Gantt	13
12. Presupuesto detallado del proyecto	14
13. Gestión de riesgos	15
14. Gestión de la calidad	17
15. Procesos de cierre	20

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento.	01/03/2022
1.1	Se completan las secciones 1 a 5 inclusive	15/03/2022
1.2	Se completan las secciones 6 a 9 inclusive	22/03/2022
1.3	Se completan las secciones 10 a 12 inclusive	29/03/2022
1.4	Se completan las secciones 13 a 15 inclusive	05/04/2022

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 1 de Marzo de 2022

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ing. Lucas Constantino que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Tester para amplificador de fibra óptica”, consistirá esencialmente en el desarrollo y construcción de un dispositivo integrado capaz de monitorear y controlar un amplificador de fibra óptica, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 642 hs de trabajo y US\$ 732, con fecha de inicio 1 de Marzo de 2022 y fecha de presentación pública 13 de Marzo de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Nicolas Casco
Skyloom Global

Dr. Ing. Alejandro Ghersin
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Un EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier) es un dispositivo optoelectrónico que permite amplificar una señal lumínica transportada mediante una fibra óptica desde una potencia del orden de 1 mW hasta aproximadamente 1 W (unas mil veces). Estos amplificadores se usan particularmente en las bandas L y C del espectro de longitud de onda para compensar las pérdidas en la fibra óptica en comunicaciones de gran distancia.

En general, un EDFA además de contar con una entrada y una salida de fibra óptica tiene un microcontrolador interno encargado de controlar el proceso de amplificación. Para poder comunicarse con el exterior este cuenta con un puerto para la conexión de varias señales, entre ellas la tensión de alimentación (potencia) para la amplificación propiamente dicha y otras señales de entrada y salida tanto analógicas como digitales, que describen el estado del amplificador, valores de ciertos parámetros y una interfaz serie que permite establecer una comunicación con el dispositivo maestro que lo comandará.

El dispositivo a desarrollar debe poder conectarse directamente al puerto de un EDFA del fabricante Nuphoton, proveer la corriente necesaria para que funcione, medirla y presentarle al usuario de forma clara este valor y el resto de los parámetros relevantes recibidos. Para esto debe contar con un display LCD táctil que además permita enviarle comandos al amplificador.

Por otro lado, como el amplificador es un dispositivo muy caro que además formará parte de una terminal de comunicación óptica satelital destinada a volar, es imperativo que se tomen las medidas necesarias para evitar dañarlo durante la etapa de integración, tanto mecánica como eléctricamente. Por dicha razón el dispositivo debe contar con las protecciones eléctricas pertinentes.

En la Figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema. Se observa que este consta de un microcontrolador como controlador central al cual se encuentran conectados todo el resto de los periféricos e interfaces. Además aclara que el EDFA, la PC y la fuente de alimentación externa no forman parte del dispositivo a desarrollar, solamente se encuentran conectados a este mediante algún tipo de interfaz.

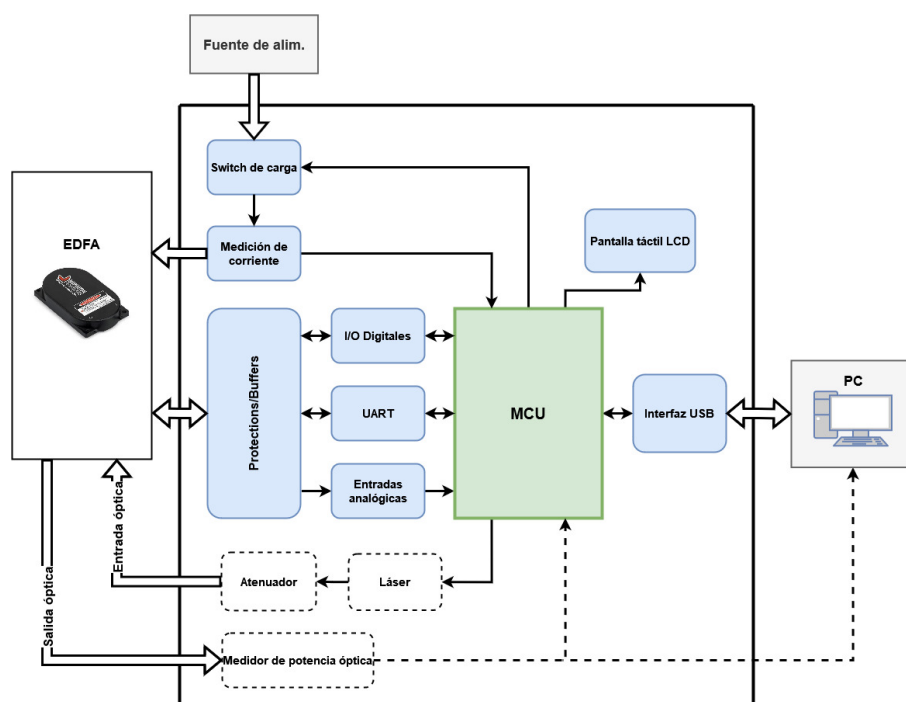


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema

Si bien el fabricante del EDFA ofrece una placa para establecer una comunicación entre el EDFA y una PC, además de ser costosa y no funcionar del todo correctamente, esta no cuenta con la conexión de todas las señales por lo que hace que conocer el estado exacto de todas las señales y parámetros lleve mucho tiempo y requiera una computadora. El presente proyecto se destaca especialmente por incorporar todos los componentes necesarios para poder monitorear y comandar de forma segura este tipo de amplificadores en un solo dispositivo, presentando al usuario los parámetros relevantes del EDFA y su consumo de corriente sin la necesidad de una PC.

Este equipo se enmarca como uno de los denominados Equipamiento Eléctrico de Soporte en Tierra perteneciente al departamento de Ensamble, Integración y Testing de la empresa Skyloom Global y será utilizado tanto durante la etapa de desarrollo como de ensamble de lotes de terminales ópticas satelitales para órbita LEO.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Nicolas Casco	Skyloom Global	Jefe de Proyecto
Responsable	Ing. Lucas Constantino	FIUBA	Alumno
Orientador	Dr. Ing. Alejandro Ghersin	FIUBA	Director de Trabajo final
Usuario final	-	Skyloom Global	Dpto. de Integración y Testing

Características de los interesados:

- Cliente: es exigente con la presentación del producto y el cumplimiento de sus requerimientos. También puede ayudar a definir los requerimientos.

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un dispositivo integrado capaz de proveer al usuario una forma sencilla de monitorear y comandar un EDFA, sin necesidad de usar una computadora. De esta forma el dispositivo se utilizará en dos instancias bien definidas: la primera es durante el desarrollo de nuevos modelos de terminales opticas satelitales y la segunda es durante la integración de grandes lotes para su fabricación en masa.

4. Alcance del proyecto

Este proyecto queda delimitado por:

- Diseño y construcción de un dispositivo funcional de un tester que consta de hardware y software.
- Diseño y ensamble del PCB del dispositivo.
- Integración completa del dispositivo en soporte mecánico.
- Verificación funcional del producto final.
- Simulación de funcionamiento de hardware mediante software apropiado.
- Diseño e implementación de la arquitectura de software del dispositivo.
- Diseño e implementación del software a ejecutarse en la PC.
- Documentación de diseño para su producción y manual de uso.

Por otro lado, queda excluído del presente proyecto:

- Fabricación del PCB del dispositivo.
- Especificación de las pruebas a ejecutar sobre el amplificador óptico utilizando el dispositivo.
- Procesamiento e interpretación de los valores de los parámetros enviados por el EDFA.
- Diseño y construcción de la fuente de alimentación externa.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El cliente proveerá una versión inicial de la placa del dispositivo final para desarrollo.

- Se podrá contar con los insumos necesarios en tiempo y forma.
- El cliente posee las instalaciones e instrumental necesario para realizar mediciones y ensayos.
- Se dispondrá del tiempo necesario para el desarrollo del proyecto.
- Se cuenta con toda la información técnica acerca del amplificador óptico, sus parámetros y funcionamiento.
- Se contará con un EDFA o con una placa electrónica que simule su comportamiento.
- El contexto macroeconómico permitirá mantener al proyecto económicamente viable durante toda su duración.
- El dispositivo le seguirá siendo necesario al cliente al momento de la finalización del proyecto.

6. Requerimientos

Los requerimientos del proyecto se definieron luego de acordarlos con el cliente y considerando las sugerencias de los posibles usuarios finales. Estos se detallan a continuación, agrupados en distintas secciones y en orden de prioridad decreciente.

1. Requerimientos generales

- 1.1. Todos los entregables del proyecto deben estar terminados y listos para presentarse el día 13 de Marzo de 2023.
- 1.2. Todos los componentes del dispositivo, a excepción de la fuente de alimentación, deben estar montados sobre una misma carcasa de material no conductor.
- 1.3. El dispositivo debe poder conectarse a la red de 110V/60Hz mediante una fuente de alimentación externa.
- 1.4. El dispositivo, sin la fuente de alimentación externa, no debe pesar mas de 750 g y no debe tener mas de 15 cm de largo, 10 cm de ancho y 6 cm de alto.
- 1.5. El dispositivo debe conectarse al EDFA mediante un cable con conectores Micro-D.

2. Requerimientos funcionales

2.1. Requerimientos de hardware

- 2.1.1. Todas las señales eléctricas entrantes y salientes del EDFA deben estar aisladas y protegidas contra descargas electrostáticas.
- 2.1.2. El dispositivo debe contar con una pantalla táctil y mostrar en ella el estado de todas las señales del EDFA y los valores de sus parámetros.
- 2.1.3. El dispositivo debe poder medir el consumo de corriente del EDFA con una precisión del 10 %.
- 2.1.4. El dispositivo debe desconectar la alimentación del EDFA de forma automática si el consumo de corriente supera el valor establecido por el usuario. Este valor debe ser configurable por el usuario mediante la pantalla táctil.
- 2.1.5. El dispositivo debe poder medir el nivel de tensión de alimentación del EDFA con una precisión del 10 %.

- 2.1.6. El dispositivo debe desconectar la alimentación del EDFA de forma automática si el nivel de tensión cae por debajo del valor establecido por el usuario. Este valor debe ser configurable por el usuario mediante la pantalla táctil.
- 2.1.7. El dispositivo debe poder conectarse a una computadora mediante USB.
- 2.2. Requerimientos de firmware
 - 2.2.1. El dispositivo debe utilizar un sistema operativo en tiempo real.
 - 2.2.2. El dispositivo debe establecer una comunicación con el EDFA para el envío de comandos mediante una interfaz UART.
 - 2.2.3. Cuando el dispositivo se encuentra conectado a una computadora el usuario debe poder, mediante una consola, configurar los mismos parámetros que en la pantalla táctil y además, establecer una comunicación directa con el EDFA.
 - 2.2.4. El dispositivo debe actualizar la información mostrada en la pantalla al menos cada 0.5 segundos.
 - 2.2.5. El dispositivo debe interpretar las señales analógicas de entrada, procesarlas y mostrarlas en la pantalla.
- 3. Requerimientos no funcionales
 - 3.1. Se deberá generar la documentación correspondiente.
 - 3.2. El dispositivo no debe generar ni emanar ningún tipo de partículas o residuo.
 - 3.3. El dispositivo debe cumplir con la normativa vigente de compatibilidad electromagnética.
 - 3.4. El dispositivo no debe generar temperaturas superiores a 40°C.
- 4. Requerimientos de testing
 - 4.1. Test de consumo de corriente del EDFA.
 - 4.2. Test de desconexión de alimentación del EDFA por sobrecorriente.
 - 4.3. Test de comunicación UART con EDFA.
 - 4.4. Test de nivel de tensión de alimentación del EDFA.
 - 4.5. Test de desconexión de alimentación del EDFA por caída de tensión.
 - 4.6. Test de uso del dispositivo mediante una computadora.
- 5. Requerimientos opcionales
 - 5.1. El dispositivo podría contar con un software de PC con interfaz gráfica para el manejo de la comunicación con el EDFA y el monitoreo de señales.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Se dará una visión de las funcionalidades esperadas por los distintos usuarios del producto. A cada historia se le asocia un grado de ponderación de acuerdo al nivel de importancia de la característica mencionada y una prioridad respecto al resto.

Para la ponderación se usarán tres niveles: 1, 3 y 7. Para la prioridad se usará de 1 a 5, siendo 1 la prioridad mas baja.

- 1. Como ingeniero de desarrollo desearía poder saber el consumo de corriente del EDFA cuando está funcionando activamente sobre una señal óptica para poder calcular su eficiencia.

- Ponderación: 7
 - Prioridad: 3
2. Como técnico de integración desearía poder probar todas las señales del EDFA rápidamente para realizar una aceptación de lote en poco tiempo.
- Ponderación: 7
 - Prioridad: 5
3. Como ingeniero de desarrollo desearía poder contar con un dispositivo integrado que indique todos los parámetros internos del EDFA para poder monitorear su performance, sin necesidad de usar una computadora u otro instrumento.
- Ponderación: 3
 - Prioridad: 4
4. Como técnico de integración desearía poder enviarle comandos al EDFA para simular que se encuentra conectado a un dispositivo que lo controla, y así observar su comportamiento.
- Ponderación: 1
 - Prioridad: 2
5. Como ingeniero de desarrollo desearía que el dispositivo cuente con las medidas de protección necesarias tanto como para evitar dañar equipos de vuelo como para poder utilizarlo dentro de una sala limpia.
- Ponderación: 3
 - Prioridad: 2

8. Entregables principales del proyecto

Se incluyen los siguientes entregables:

- Manual de uso del dispositivo
- Diagramas de circuitos esquemáticos
- Código fuente del firmware
- Reporte de ensayos
- Producto final funcional
- Memoria del proyecto

9. Desglose del trabajo en tareas

Se presenta a continuación el WBS del proyecto mediante una lista indexada, detallando las actividades a realizar en cada sección y su duración correspondiente.

1. Planificación del proyecto (50 hs)

- 1.1. Definición de alcance y requerimientos con el cliente (12 hs)
- 1.2. Análisis de factibilidad técnico-económica (8 hs)
- 1.3. Confección del plan de trabajo (30 hs)
2. Análisis preliminar (32 hs)
 - 2.1. Estudio detallado del funcionamiento del EDFA (12 hs)
 - 2.2. Elección del microcontrolador (8 hs)
 - 2.3. Selección de los principales componentes a utilizar (12 hs)
3. Diseño general del dispositivo (50 hs)
 - 3.1. Construcción de diagrama en bloques (12 hs)
 - 3.2. Definición de interfaces (6 hs)
 - 3.3. Diseño y fabricación de placa de desarrollo (32 hs)
4. Diseño de hardware (122 hs)
 - 4.1. Diseño del diagrama esquemático (30 hs)
 - 4.2. Diseño del PCB (24 hs)
 - 4.3. Ensamble del PCB (12 hs)
 - 4.4. Puesta en marcha del PCB (12 hs)
 - 4.5. Ejecución de retrabajos del PCB (6 hs)
 - 4.6. Diseño de la carcasa (20 hs)
 - 4.7. Impresión de la carcasa (12 hs)
 - 4.8. Integración y montaje del dispositivo completo (6 hs)
5. Diseño de firmware (140 hs)
 - 5.1. Definición de la arquitectura (14 hs)
 - 5.2. Modularización del código (20 hs)
 - 5.3. Desarrollo de la interfaz de usuario en pantalla táctil (30 hs)
 - 5.4. Desarrollo del monitoreo y protección de corriente (10 hs)
 - 5.5. Desarrollo del monitoreo y protección de tensión (10 hs)
 - 5.6. Desarrollo de la interfaz UART (26 hs)
 - 5.7. Desarrollo de la interfaz USB (30 hs)
6. Verificación y validación (146 hs)
 - 6.1. Pruebas de campo (32 hs)
 - 6.2. Pruebas de la interfaz de usuario (14 hs)
 - 6.3. Pruebas del monitor de corriente (10 hs)
 - 6.4. Pruebas de la protección de corriente (10 hs)
 - 6.5. Pruebas del monitor de tensión (10 hs)
 - 6.6. Pruebas de la protección de tensión (10 hs)
 - 6.7. Pruebas de la interfaz UART (20 hs)
 - 6.8. Pruebas de la interfaz USB (20 hs)
 - 6.9. Corrección de errores del firmware (20 hs)

7. Documentación (102 hs)

- 7.1. Elaboración del manual de usuario (32 hs)
- 7.2. Elaboración de la memoria técnica (40 hs)
- 7.3. Elaboración de la presentación pública del proyecto (30 hs)

Cantidad total de horas: (642 hs)

10. Diagrama de Activity On Node

A continuación se presenta el diagrama de actividades Activity On Node. La duración de las tareas se encuentran expresadas en horas y el camino crítico del proyecto indicado mediante las flechas de mayor espesor.

Para mayor claridad del diagrama, las tareas 5, 6 y 7 se encuentran reducidas en una sola instancia ya que sus actividades de menor nivel se ejecutan de forma secuencial.

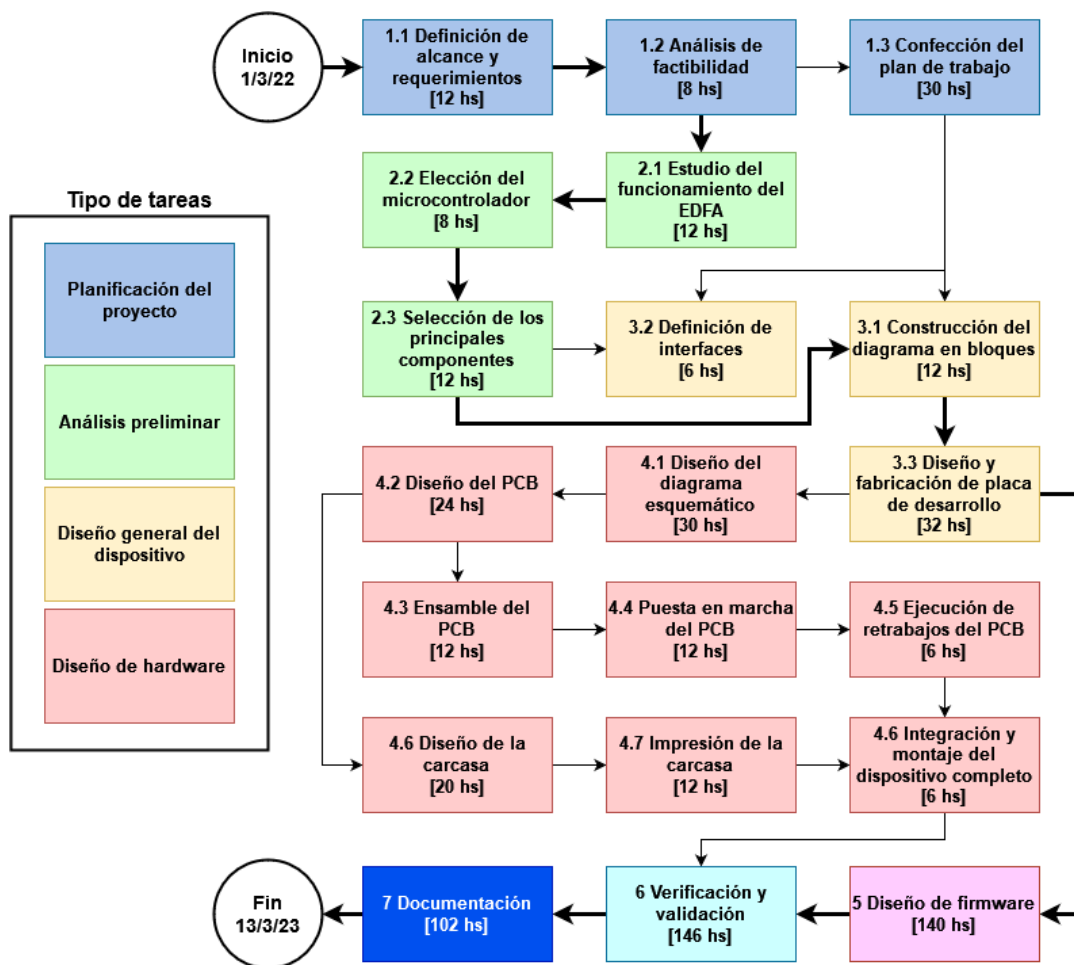


Figura 2. Diagrama de Activity on Node

11. Diagrama de Gantt

En la figura 3 se muestran las tareas con sus respectivas fechas iniciales y finales. Para la duración de los días se estimó una jornada de trabajo de 9 horas por semana (de 5 días hábiles).

Nombre	Inicio	Fin	Hito
<u>Inicio del proyecto</u>	1/3/22	1/3/22	*
<u>1 Planificación del proyecto</u>	1/3/22	8/4/22	
1.1 Definición de alcance y requerimientos con el cliente	1/3/22	9/3/22	
1.2 Análisis de factibilidad técnico-económica	10/3/22	16/3/22	
1.3 Confección del plan de trabajo	17/3/22	8/4/22	
Finalización de la planificación del proyecto	11/4/22	11/4/22	*
<u>2 Análisis preliminar</u>	17/3/22	12/4/22	
2.1 Estudio detallado del funcionamiento del EDFA	17/3/22	25/3/22	
2.2 Elección del microcontrolador	28/3/22	1/4/22	
2.3 Selección de los principales componentes a utilizar	4/4/22	12/4/22	
Finalización del análisis preliminar	13/4/22	13/4/22	*
<u>3 Diseño general del dispositivo</u>	13/4/22	17/5/22	
3.1 Construcción de diagrama en bloques	13/4/22	21/4/22	
3.2 Definición de interfaces	13/4/22	18/4/22	
3.3 Diseño y fabricación de placa de desarrollo	22/4/22	17/5/22	
Finalización del diseño general del dispositivo	18/5/22	18/5/22	*
<u>4 Diseño de hardware</u>	18/5/22	1/8/22	
4.1 Diseño del diagrama esquemático	18/5/22	9/6/22	
4.2 Diseño del PCB	10/6/22	29/6/22	
4.3 Ensamble del PCB	30/6/22	8/7/22	
4.4 Puesta en marcha del PCB	11/7/22	19/7/22	
4.5 Ejecución de retrabajos del PCB	20/7/22	25/7/22	
4.6 Diseño de la carcasa	30/6/22	15/7/22	
4.7 Impresión de la carcasa	18/7/22	26/7/22	
4.8 Integración y montaje del dispositivo completo	27/7/22	1/8/22	
Finalización del diseño de hardware	2/8/22	2/8/22	*
<u>5 Diseño de firmware</u>	18/5/22	7/9/22	
5.1 Definición de la arquitectura	18/5/22	27/5/22	
5.2 Modularización del código	30/5/22	14/6/22	
5.3 Desarrollo de la interfaz de usuario en pantalla táctil	15/6/22	7/7/22	
5.4 Desarrollo del monitoreo y protección de corriente	8/7/22	15/7/22	
5.5 Desarrollo del monitoreo y protección de tensión	18/7/22	25/7/22	
5.6 Desarrollo de la interfaz UART	26/7/22	15/8/22	
5.7 Desarrollo de la interfaz USB	16/8/22	7/9/22	
Finalización del diseño de firmware	8/9/22	8/9/22	*
<u>6 Verificación y validación</u>	8/9/22	20/12/22	
6.1 Pruebas de campo	8/9/22	3/10/22	
6.2 Pruebas de la interfaz de usuario	4/10/22	13/10/22	
6.3 Pruebas del monitor de corriente	14/10/22	21/10/22	
6.4 Pruebas de la protección de corriente	14/10/22	21/10/22	
6.5 Pruebas del monitor de tensión	24/10/22	31/10/22	
6.6 Pruebas de la protección de tensión	24/10/22	31/10/22	
6.7 Pruebas de la interfaz UART	1/11/22	16/11/22	
6.8 Pruebas de la interfaz USB	17/11/22	2/12/22	
6.9 Corrección de errores del firmware	5/12/22	20/12/22	
Finalización de la verificación y validación	21/12/22	21/12/22	*
<u>7 Documentación</u>	21/12/22	10/3/23	
7.1 Elaboración del manual de usuario	21/12/22	13/1/23	
7.2 Elaboración de la memoria técnica	16/1/23	15/2/23	
7.3 Elaboración de la presentación pública del proyecto	16/2/23	10/3/23	
<u>Finalización del proyecto</u>	13/3/23	13/3/23	*

Figura 3. Diagrama de Tareas del diagrama de Gantt

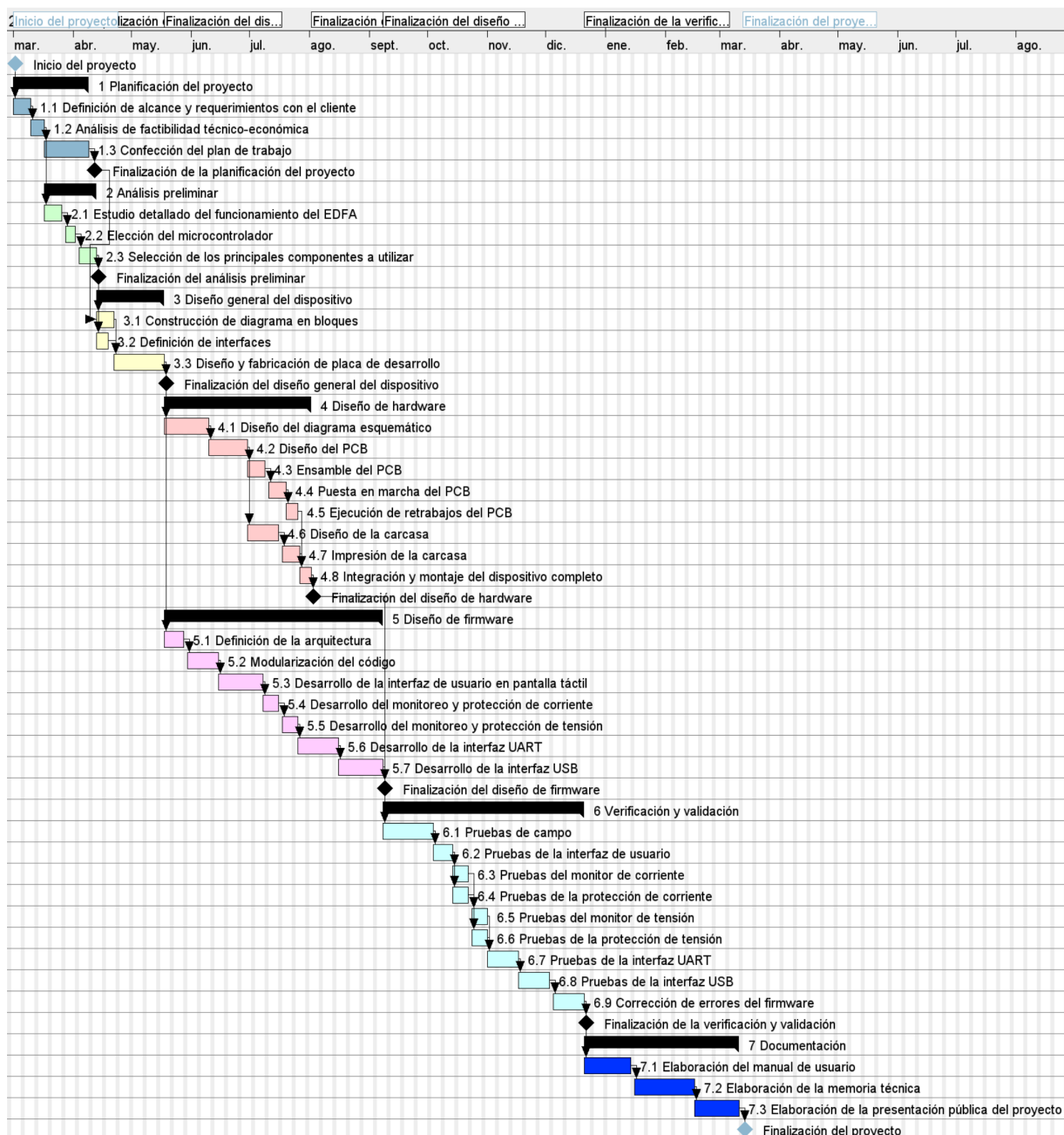


Figura 4. Diagrama de Gantt

12. Presupuesto detallado del proyecto

A continuación se muestra una tabla detallando los costos que surgen del desarrollo del proyecto. Los valores se encuentran expresados en dólares estadounidenses.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Fabricación de PCB de placa de desarrollo	5	\$25*	\$125
Placa de desarrollo STM32F429	1	\$25	\$25
Display LCD	1	\$9	\$9
Fuente de alimentación externa	1	\$30*	\$30
Componentes electrónicos varios**	1	\$170*	\$170
Filamento PLA	1	\$22	\$22
Fabricación de PCB de dispositivo terminado	5	\$25*	\$125
Componentes cable dispositivo a EDFA	1	\$86*	\$86
SUBTOTAL			\$592
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Gastos de importación y aduana	2	\$20*	\$40
Consumo de red eléctrica	1	\$100*	\$100
SUBTOTAL			\$140
TOTAL			\$732

(*) Valor aproximado

(**) Incluye repuestos

13. Gestión de riesgos

A continuación se detallan cinco posibles riesgos inherentes al proyecto. Los mismos son evaluados según su grado de severidad y su probabilidad de ocurrencia tomando valores del 1 al 10.

a) Identificación de los riesgos y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: Pérdida de información

- Severidad (S): 8

Ya sea por desperfectos, extravío o por robo de las computadoras utilizadas para desarrollo de firmware y hardware, se podría perder parcial o totalmente la información relacionada al proyecto por lo que llevaría tiempo volver a generarla o recuperarla. Además probablemente implicaría gastos extras no contemplados.

- Ocurrencia (O): 2

Poco probable si se usa un sistema de control de versiones basado en la nube.

Riesgo 2: Incorrecto diseño de la placa de desarrollo

- Severidad (S): 7

El circuito de la placa de desarrollo puede estar mal diseñado y no funcionar e incluso dañar componentes. En el caso que esto no se pueda solucionar con un retrabajo se debería hacer una revisión del diseño y volver a fabricar y ensamblar el PCB.

■ Ocurrencia (O): 4

Al ser un circuito casi todo completamente digital y sin diseños analógicos complejos es poco probable que se tenga que hacer una modificación en el diseño que amerite volver a fabricar la placa. Lo que si es probable, es que se tenga que ejecutar algún simple retrabajo sobre ella.

Riesgo 3: Mala integridad de señal de las señales analógicas

■ Severidad (S): 9

En el mejor de los casos las señales analógicas que entrarán al ADC del microcontrolador estarán contaminadas por un bajo nivel de ruido. En el peor de los casos, habrá *crosstalk* con las señales de clock de los SPI.

■ Ocurrencia (O): 5

En todo PCB siempre existirá un mínimo nivel de ruido debido a distintos factores como ruido térmico, ambiental o *ripple* proveniente de la fuente de alimentación.

Riesgo 4: Baja o nula disponibilidad de amplificadores EDFA

■ Severidad (S): 8

Para la validación de los requerimientos se deberá utilizar exactamente el modelo de EDFA que estará integrado en la terminal, por lo que se necesitará contar con uno durante todo el tiempo de duración de esta etapa.

■ Ocurrencia (O): 6

Al momento de realizar la validación de los requerimientos puede suceder que la empresa se encuentre utilizando todos ellos ya sea para desarrollo o para integración y no cuente con ninguno disponible para otro uso.

Riesgo 5: Faltante de componentes electrónicos

■ Severidad (S): 6

En este caso en particular la mayoría de los componentes no son de aplicaciones específicas por lo que si no se pudiese conseguir alguno, probablemente se podrán encontrar reemplazos fácilmente.

■ Ocurrencia (O): 6

Es de esperar que se encuentren dificultades para conseguir ciertos componentes, ya sea por el desabastecimiento del mercado, por extravío o por rotura.

b) Tabla de gestión de riesgos:

El RPN se calcula como $RPN = S \times O$.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
Pérdida de información	8	2	16			
Incorrecto diseño de la placa de desarrollo	7	4	28			
Mala integridad de señal de las señales analógicas	9	5	45	6	3	18
Baja o nula disponibilidad de amplificadores EDFA	8	6	48	8	3	24
Faltante de componentes electrónicos	6	6	36	6	4	24

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 30.

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 3: Mala integridad de señal de las señales analógicas

- Severidad (S): 6
Se incluirán filtros analógicos en el diseño del esquemático y digitales en el diseño del firmware.
- Ocurrencia (O): 3
Durante el diseño del PCB se aplicarán técnicas de desacople entre las señales analógicas y digitales con el fin de evitar la aparición de *crosstalk*. Además se incluirá *shielding* para mitigar el ruido inducido del ambiente.

Riesgo 4: Baja o nula disponibilidad de amplificadores EDFA

- Severidad (S): Se mantiene.
- Ocurrencia (O): 3
Se avisará a la empresa con varias semanas de anticipación que se deberá disponer de un amplificador EDFA durante el período de tiempo correspondiente a la verificación y validación.

Riesgo 5: Faltante de componentes electrónicos

- Severidad (S): Se mantiene
- Ocurrencia (O): 4
Se elegirán componentes con abundante stock y se adquirirán lo mas pronto posible, luego de finalizar el diseño esquemático de la placa. Además se comprarán varios repuestos para cada uno.

14. Gestión de la calidad

1. Requerimientos generales:

- 1.1. Todos los entregables del proyecto deben estar terminados y listos para presentarse el día 13 de Marzo de 2023.
 - **Verificación:** se verifica con el diagrama de Gantt.
 - **Validación:** el cliente compara la fecha en que recibe los entregables con la especificada en el Plan de Trabajo.
- 1.2. Todos los componentes del dispositivo, a excepción de la fuente de alimentación, deben estar montados sobre una misma carcasa de material no conductor.

- **Verificación:** no hay componentes fuera de la carcasa, a excepción de la fuente de alimentación.
 - **Validación:** el cliente recibe el dispositivo y la fuente de alimentación.
- 1.3. El dispositivo debe poder conectarse a la red de 110V/60Hz mediante una fuente de alimentación externa.
- **Verificación:** se verifica que el dispositivo tenga el conector apropiado para la fuente externa y que funcione correctamente con el nivel de tensión de salida de dicha fuente.
 - **Validación:** el cliente verificará que el dispositivo funcione correctamente cuando se lo conecta a la red mediante la fuente externa.
- 1.4. El dispositivo, sin la fuente de alimentación externa, no debe pesar mas de 750 g y no debe tener mas de 15 cm de largo, 10 cm de ancho y 6 cm de alto.
- **Verificación:** se pesará y medirá el dispositivo.
 - **Validación:** el cliente pesará y medirá el dispositivo.
- 1.5. El dispositivo debe conectarse al EDFA mediante un cable con conectores Micro-D.
- **Verificación:** se verificará que el conector en el dispositivo sea compatible con el del cable.
 - **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA mediante el cable correspondiente y verificará su funcionamiento.
2. Requerimientos funcionales:
- 2.1. Requerimientos de hardware
- 2.1.1. Todas las señales eléctricas entrantes y salientes del EDFA deben estar aisladas y protegidas contra descargas electrostáticas.
- **Verificación:** se aplicarán altas tensiones simulando ser descargas electrostáticas en los pines, se medirá si estas se suprimen y se comprobará si algún componente se dañó.
 - **Validación:** el cliente evaluará los resultados obtenidos en la verificación.
- 2.1.2. El dispositivo debe contar con una pantalla táctil y mostrar en ella el estado de todas las señales del EDFA y los valores de sus parámetros.
- **Verificación:** se comprueba que cuando los parámetros y señales de interes varían estos se actualizan correctamente en la pantalla.
 - **Validación:** el cliente comprobará que en la pantalla se muestran todos los parámetros y señales de interés.
- 2.1.3. El dispositivo debe poder medir el consumo de corriente del EDFA con una precisión del 10 %.
- **Verificación:** se colocará una carga conocida simulando el consumo de corriente del EDFA y se comprobará que el valor de corriente medido tiene un desvío máximo del 10 % con respecto al real.
 - **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA, medirá el consumo de corriente y lo comparará con el valor mostrado en la pantalla del dispositivo.
- 2.1.4. El dispositivo debe desconectar la alimentación del EDFA de forma automática si el consumo de corriente supera el valor establecido por el usuario. Este valor debe ser configurable por el usuario mediante la pantalla táctil.
- **Verificación:** se colocará una carga conocida simulando el consumo de corriente del EDFA y se comprobará que el dispositivo desconecta la alimentación cuando la corriente supera el limite establecido mediante la pantalla táctil.

- **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA y midiendo la corriente que consume comprobará que el dispositivo desconecta la alimentación cuando esta supera el límite establecido mediante la pantalla táctil.
- 2.1.5. El dispositivo debe poder medir el nivel de tensión de alimentación del EDFA con una precisión del 10 %.
 - **Verificación:** se colocará una carga conocida simulando el consumo de corriente del EDFA y se comprobará que el valor de tensión medido tiene un desvío máximo del 10 % con respecto al real.
 - **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA, medirá el nivel de tensión y lo comparará con el valor mostrado en la pantalla del dispositivo.
- 2.1.6. El dispositivo debe desconectar la alimentación del EDFA de forma automática si el nivel de tensión cae por debajo del valor establecido por el usuario. Este valor debe ser configurable por el usuario mediante la pantalla táctil.
 - **Verificación:** se colocará una carga conocida simulando el consumo de corriente del EDFA y se comprobará que el dispositivo desconecta la alimentación cuando el nivel de tensión cae por debajo del límite establecido mediante la pantalla táctil.
 - **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA y midiendo el nivel de tensión comprobará que el dispositivo desconecta la alimentación cuando esta cae por debajo del límite establecido mediante la pantalla táctil.
- 2.1.7. El dispositivo debe poder conectarse a una computadora mediante USB.
 - **Verificación:** se comprobará que el dispositivo cuenta con el conector correcto y que es detectado cuando se lo conecta a una PC.
 - **Validación:** el cliente conectará el dispositivo a una PC y comprobará que es detectado por esta.
- 2.2. Requerimientos de firmware
 - 2.2.1. El dispositivo debe utilizar un sistema operativo en tiempo real.
 - **Verificación:** no aplica.
 - **Validación:** no aplica.
 - 2.2.2. El dispositivo debe establecer una comunicación con el EDFA para el envío de comandos mediante una interfaz UART.
 - **Verificación:** se generará un *loopback* en las señales UART y se comprobará que en el dispositivo se reciben los mismos comandos que se envían.
 - **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA, le enviará comandos mediante la interfaz UART y comprobará si este responde correctamente.
 - 2.2.3. Cuando el dispositivo se encuentra conectado a una computadora el usuario debe poder, mediante una consola, configurar los mismos parámetros que en la pantalla táctil y además, establecer una comunicación directa con el EDFA.
 - **Verificación:** se generará un *loopback* en las señales UART y se comprobará que al estar conectado a una PC se reciben los mismos comandos que se envían. Además se comprobará que los parámetros en el dispositivo se modifican correctamente.
 - **Validación:** el cliente hará lo mismo que en la verificación pero conectando el dispositivo a un EDFA.
 - 2.2.4. El dispositivo debe actualizar la información mostrada en la pantalla al menos cada 0.5 segundos.
 - **Verificación:** se variará algún parámetro rápidamente de forma que se aprecie que la tasa de refresco de la pantalla sea la correcta.

- **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA y comprobará que la tasa de refresco de la pantalla sea la correcta.
- 2.2.5. El dispositivo debe interpretar las señales analógicas de entrada, procesarlas y mostrarlas en la pantalla.
- **Verificación:** se simularán las señales de entrada y se comprobará si estas se actualizan correctamente en la pantalla.
 - **Validación:** el cliente conectará el dispositivo al EDFA y comprobará si las señales de entrada son actualizadas correctamente en la pantalla.
3. Requerimientos no funcionales:
- 3.1. Se deberá generar la documentación correspondiente.
- **Verificación:** se comprobará que la documentación esté completa y se corresponda con el diseño del dispositivo.
 - **Validación:** el cliente hará lo mismo que en la verificación.
- 3.2. El dispositivo no debe generar ni emanar ningún tipo de partículas o residuo.
- **Verificación:** se comprobará que el dispositivo no emana partículas ni residuos durante su uso en la etapa de validación.
 - **Validación:** el cliente comprobará que el dispositivo no emana partículas ni residuos durante su uso.
- 3.3. El dispositivo debe cumplir con la normativa vigente de compatibilidad electromagnética.
- **Verificación:** se comprobará que el dispositivo cumple con la norma.
 - **Validación:** el cliente comprobará que el dispositivo cumple con la norma.
- 3.4. El dispositivo no debe generar temperaturas superiores a 40°C.
- **Verificación:** se conectará al dispositivo una carga conocida simulando el consumo del EDFA y se lo dejará prendido varias horas. Luego se medirá su temperatura y se comprobará que en ningún punto este excede los 40°C.
 - **Validación:** el cliente procederá al igual que en la verificación pero conectando el dispositivo al EDFA.

15. Procesos de cierre

La reunión que dará cierre al proyecto tendrá lugar durante la presentación y defensa pública del trabajo final de carrera, con presencia de los involucrados e interesados donde se realizarán las siguientes actividades:

- El responsable del proyecto, Lucas Constantino, analizará junto al director el cumplimiento de los requerimientos, el del WBS y el tiempo en el que se llevó a cabo. Se revisarán las técnicas de diseño aplicadas en el proyecto y se comentará cuales tuvieron éxito y cuales no. A su vez, se repasarán los problemas encontrados y como se resolvieron.
- El responsable del proyecto, Lucas Constantino, comunicará al cliente la finalización del proyecto y hará entrega de toda la documentación correspondiente del producto para su producción. También entregará un informe técnico-económico del producto junto con los reportes de los ensayos de campo

- El responsable del proyecto, Lucas Constantino, elaborará un documento con la memoria y una presentación del producto para su defensa pública ante un jurado evaluador. En ella también se agradecerá al director por haber dirigido y supervisado todo el proyecto, al cliente por la confianza depositada y el aporte financiero y en especial al equipo de colaboradores por su compromiso de trabajo para con el proyecto.