

# **Proyecto de fin de estudios en la carrera Ingeniería Eléctrica**

## **WiCharge**

### **Plan de proyecto**

Autores: Leandro Díaz  
Martín Sivolella

Tutores: Dr. Ing. Fernando Silveira  
Dr. Ing. Pablo Pérez-Nicoli

Fecha: 8/5/2020

# Terminología utilizada

Siempre que se mencione alguna de las siguientes palabras o expresiones en el cuerpo de este documento, se asumirá el significado que se expresa a continuación:

- Amplificador de potencia: Circuito electrónico que convierte una tensión continua en una corriente sinusoidal de frecuencia y amplitud específicas.
- Convertidor AC-DC: Circuito electrónico que convierte la tensión de la red eléctrica (220Vac-50Hz) en una tensión continua.
- Módulo de recepción Bluetooth: Circuito integrado capaz de recibir señales por Bluetooth, procesarlas y transmitirlas por una interfaz externa.
- Etapa digital: Conjunto de microcontrolador, módulo de recepción de Bluetooth y circuitos digitales auxiliares.
- Sistema de seguridad: Circuito electrónico capaz de desactivar el transmisor en caso de detectar que algún dispositivo interno del mismo opera fuera de su SOA (por SOA ver más adelante en esta misma sección).
- Transmisor (o también sistema): Conjunto de convertidor AC-DC, etapa digital, sistema de seguridad y amplificador de potencia.
- WPTS: Acrónimo de Wireless power transfer system, Sistema de transferencia de energía inalámbrica.
- Bobina transmisora: Bobina conectada a la salida del transmisor de un WPTS, genera el campo magnético oscilante responsable de la transferencia de energía.
- Bobina receptora: Bobina que recibe energía transmitida por la bobina transmisora en un WPTS.
- FVM-I3: Proyecto de investigación aplicada Fondo María Viñas, FMV\_1\_2017\_1\_1367400.
- Arquitectura clase E: Arquitectura de amplificadores de potencia, posee mayor eficiencia en comparación a las arquitecturas A, AB y B y menor distorsión armónica que la arquitectura D.
- Banda ISM: Banda de frecuencias Industrial Scientific and medical, compuesta por 12 sub-bandas distribuidas a lo largo del espectro electromagnético.
- SOA: Acrónimo de Safe Operating Area, Área de operación segura, conjunto de valores de tensión y corriente dentro de los cuales el fabricante de un dispositivo garantiza el cumplimiento de las especificaciones que brinda.

# 1. Resumen

El PFC **Transmisor para Sistemas de Transferencia Inalámbrica de Energía** (Wi-Charge) se realizará por los estudiantes Martín Sivolella y Leandro Díaz para el cliente: IIE, FMV-I3. Los tutores del proyecto son el Dr. Ing. Fernando Silveira y el Dr. Ing. Pablo Pérez-Nicolí. La fecha prevista de finalización de dicho proyecto será el 15 de abril del 2021, con una dedicación horaria de 1050 horas.

Datos de los estudiantes:

- Martin Sivolella - CI: 4226287-2 - E-mail: cmsivolella@gmail.com
- Leandro Díaz - CI: 4515988-4 - E-mail: diazleandro1012@gmail.com

En el transcurso del proyecto se realizarán dos entregables intermedios:

## Hito 1 - 15 de septiembre 2020

Para el hito 1 se realizarán los siguientes entregables:

- Se tendrá documentado el análisis, hipótesis y resultados para el diseño de la etapa de potencia del transmisor Clase-E.
- Se habrá hecho la elección de los componentes para la fabricación del mismo. Se tendrán las simulaciones en Software, se revelarán similitudes y discrepancias con el modelo teórico.
- Se habrá realizado la compra y fabricación del primer prototipo de la etapa de potencia, se verificará la funcionalidad del mismo, se tendrá una estimación del rendimiento del mismo y se revelarán discordancias con el modelo teórico.
- Dado que dicho proyecto integra en el marco del proyecto FMV-I3 y las financiaciones de dicho proyecto son a través de ANII FMV I3, la cual termina en septiembre, además de la fabricación del primer prototipo del transmisor, se habrá hecho la elección y compra de los siguientes componentes: fuente de alimentación, microprocesador y módulo Bluetooth.

## Hito 2 - 15 de febrero 2021

Para el hito 2 se realizarán los siguientes entregables:

- Se tendrá fabricado el prototipo final del transmisor .
- Se habrá verificado la funcionalidad del mismo, y evaluado todos los requerimientos especificados por el cliente, detallados en la sección 9

# 2. Descripción del Proyecto

El presente PFC entra en el marco del proyecto FMV-I3 (Proyecto de investigación aplicada Fondo María Viñas, FMV\_1\_2017\_1\_136740), el cual a su vez se enmarca, entre otras líneas de investigación del grupo de microelectrónica del IIE (GME), en la transferencia inalámbrica de energía y sus circuitos asociados. El sistema de transferencia inalámbrica de energía estudiado en el FMV-I3 se puede descomponer en cuatro subsistemas principales:

- Transmisor de potencia: tiene como función convertir la tensión eléctrica de la red (220Vrms AC, 50 Hz) en una corriente alterna de frecuencia y amplitud adecuada (2A de pico AC, 13,56MHz).

- Bobina primaria: convierte la corriente alterna generada por el transmisor en un campo magnético oscilante.
- Bobina receptora: induce una tensión alterna debido al campo magnético oscilante generado por la bobina primaria.
- Circuito rectificador y acondicionador: adecúa las características de la tensión inducida en la bobina receptora para alimentar al circuito de carga.

El problema presentado a los estudiantes realizadores del presente PFC fue diseñar, construir y testear el transmisor de potencia antedicho. Existen dos antecedentes de este proyecto llevados a cabo en el IIE, el PFC TIE-MAX llevado a cabo por Gonzalo Federico Cuñarro Podestá y Guillermo Francisco Flieller Alfonso, quienes diseñaron e implementaron la electrónica y control de un sistema de transferencia inalámbrica de energía capaz de seguir el punto de máxima eficiencia, y el proyecto TIE integrado por Agustín Rodríguez-Esteva, Ma. Sofía Pérez Casulo y Bruno Serra Laborde, sobre el cual se basó el proyecto TIE-MAX de Cuñarro y Flieller.

### 3. Objetivo General

Se centrará en el diseño, implementación y testeo del transmisor que alimenta la bobina primaria del sistema de transmisión de energía inalámbrica del FMV-I3. El diseño del transmisor se basará en una arquitectura Clase-E ZVS, por su constitución, esta arquitectura presenta una alta eficiencia, además de poder operar a altas frecuencias. El transmisor será capaz de regular la corriente de salida en función de mensajes específicos recibidos a través de Bluetooth, enviados por un dispositivo implantable alimentado por el sistema de transferencia de energía inalámbrica.

El transmisor construido se utilizará en el proyecto FMV-I3 para alimentar de manera inalámbrica a los dispositivos médicos implantables involucrados en dicho proyecto.

### 4. Alcance

- Se construirá el amplificador basándose en una arquitectura Clase-E ZVS con un mínimo de eficiencia del 80% y frecuencia de salida = 13,56 MHz para una carga de salida de tipo  $L - R$ , siendo  $L = 2,2uH$  y  $R = 3\Omega$ .
- Se incluirá una fuente de alimentación AC-DC para que el amplificador se alimente desde la red 220V-50Hz, 110V-60Hz.
- El transmisor incluirá protecciones para que en caso de que las corrientes y/o tensiones de los dispositivos internos sobrepasen los valores límites de la SOA.
- Se regulará la corriente de pico de salida en un rango de 0 a 2A y pasos de 100mA mediante mensajes específicos recibidos por Bluetooth.
- Se evaluará la eficiencia del transmisor para bobinas transmisoras de  $1uH$  a  $10uH$  con  $R$  entre  $1\Omega$  y  $10\Omega$ .
- El equipo contará con una carcasa con un grado de protección  $IP5X$ .
- Se incorporará una interfaz con el usuario mediante el uso de LEDs.

Queda por fuera del proyecto:

- Modificaciones en el transmisor para que cumpla con las mismas características de eficiencia para el rango de bobinas  $1\mu H$  a  $10\mu H$  con  $R$  de entre  $1\Omega$  y  $10\Omega$ .
- Diseño del transmisor utilizando otra arquitectura, para comparar costos económicos y eficiencia entre ambos.

## 5. Criterios de éxito

Se considerará exitoso el PFC si:

- 1) Se finaliza el diseño y construcción del transmisor dentro del plazo establecido en la unidad curricular “Proyecto de fin de carrera IIE”.
- 2) Mediante ensayos acordes, se logra verificar que el transmisor final cumple con todos los requerimientos detallados.

### Ensayos a realizar:

Requerimiento detallado	Equipamiento utilizado	Magnitudes a medir	Resultado esperado	Observaciones
Frecuencia de salida (3.2)	Osciloscopio	Frecuencia a la salida del amplificador	$13,56 \pm 0,007$ MHz	Corriente de salida dentro del rango especificado en requerimiento 3.5.
Rendimiento del amplificador (3.4)	Multímetro DC, osciloscopio	Voltaje y corriente DC a la entrada del amplificador, voltaje AC a la salida del amplificador.	Mayor a 80%	Corriente de salida = 2A de pico.
Corriente máxima de salida (3.3)	Osciloscopio	Voltaje AC a la salida del amplificador	2 A de pico	---
Distorsión armónica (3.6)	Analizador de espectro	Voltaje AC a la salida del amplificador	(*)	Corriente de salida = 2A de pico.
Rendimiento total (6.1)	Multímetro DC, osciloscopio	Voltaje y corriente DC a la entrada del transmisor, voltaje AC a la salida del amplificador.	Mayor a 70%	Corriente de salida = 2A de pico.

\*: A determinar, debe ser tal que cumpla que al alimentar con el transmisor una bobina circular de 60cm de diámetro, hecha con cable de cobre de 1.13 mm de radio y una sola vuelta, el campo eléctrico en la aproximación de campo lejano a 300 mts no sobrepasa los 25 uV/m para cualquier dirección de irradiación considerada.

Figura 1: Ensayos a realizar

3) El costo económico del proyecto no resulta desmesurado, en comparación al presupuesto proyectado.

4) Se logra finalizar el PFC con una buena interacción entre los miembros del equipo, así como también una acorde distribución de tiempo y recursos entre los mismos.

## 6. Actores

- Equipos electrónicos: equipos electrónicos que produzcan campos magnéticos no despreciables, van a inducir corriente en el transmisor afectando el funcionamiento del mismo.
- Estudiantes realizadores del presente PFC, Leandro Díaz y Martín Sivolella.
- Tutores del PFC, Fernando Silveira y Pablo Pérez Nicoli.
- Estudiantes de Fing Fátima Alvez, Alvaro Ríos y Manuel Urquiola, quienes llevarán a cabo un PFC relacionado con el FMV-I3 paralelo al presente proyecto.
- Investigadores del IIE participantes del proyecto FMV-I3.
- Proveedores, tanto nacionales como del exterior, de materiales (componentes electrónicos, PCB, conectores, fuente, etc.) y de consumibles (productos químicos como percloruro de hierro, estaño para soldar, tinta para grabar el PCB, etc.).
- Aduana e instituciones relacionados con la importación y despacho de bienes desde el exterior.

## 7. Supuestos

1) Tanto para realizar testeos como para fabricar distintas partes del transmisor se necesitará equipamiento específico (generadores de señal, estación soldadora, lupa estereoscópica, instrumentos de medición). Se utilizará el equipamiento disponible en los distintos laboratorios del IIE, dado que éste es utilizado por distintas personas (investigadores, estudiantes), se estimará el tiempo necesario para realizar las tareas que requieran equipamiento específico suponiendo que se dispone de tiempo suficiente para utilizarlo, y que éste se encuentra en buen estado funcional.

2) El transmisor a diseñar trabajará a una frecuencia fija (13,56 MHz, banda ISM), no pudiéndose ajustar ni cambiar, por lo tanto, otros transmisores del mismo tipo (así como otros equipos operando en la misma frecuencia) operando en las cercanías podrán producir interferencias en el sistema. Dado la complejidad de tener en cuenta en el diseño el fenómeno anterior, se trabajará bajo el supuesto de que no hay equipos interferentes en las cercanías del transmisor.

## 8. Restricciones

Dado que en un amplificador clase E, tanto el rendimiento como la potencia de salida dependen fuertemente de la carga que el amplificador alimenta, para el diseño de este, se tendrá en cuenta como carga únicamente la bobina transmisora especificada ( $L = 2,2\mu H$ ,  $R = 3\Omega$ ), contemplando eventualmente la posibilidad de adaptar el sistema para que funcione con un rango mayor de inductancias y resistencias de carga. Además, las condiciones de funcionamiento

del amplificador dependen tanto de la posición relativa entre la bobina transmisora y la bobina receptora como de la carga que ésta última alimenta, puede darse que, bajo ciertas condiciones, las corrientes y/o tensiones de los componentes internos del amplificador sobrepasen los valores límites de la SOA produciendo roturas en el mismo, por lo cual se deberá incluir un sistema de apagado de emergencia en el amplificador.

## 9. Especificación funcional del Proyecto

### Requerimientos conceptuales

Sistema: El sistema se utilizará como transmisor del WPTS del proyecto FMV-I3, dicho WPTS será utilizado para cargar de manera inalámbrica dispositivos médicos implantables. Estará compuesto por un conversor AC-DC, un amplificador de potencia, un microprocesador y contará con un módulo bluetooth para su comunicación con el implantable.

Uso esperado: El sistema contará con una etapa de potencia, encargada de generar una corriente sinusoidal de una frecuencia fija dentro de la banda ISM, para alimentar la bobina transmisora del WPTS la cual es la encargada de generar el campo magnético para la carga del implantable. A través de un microcontrolador será capaz de controlar la corriente de salida en función de los comandos recibidos por Bluetooth. La arquitectura sugerida para la etapa de potencia es clase E, ya que el sistema deberá contar con alto nivel de eficiencia. Deberá desactivarse en caso de que las corrientes y/o tensiones de los dispositivos internos sobrepasen los valores límite de la SOA, evitando cualquier rotura o riesgo de incendio.

### Requerimientos específicos

A continuación se detallan los requerimientos específicos del proyecto:

#### 1. Requerimientos mecánicos y físicos:

- 1.1 Temperatura de funcionamiento: El transmisor deberá funcionar cumpliendo con los requerimientos detallados en un rango de temperatura ambiente de 0 a 45 grados Celsius.
- 1.2 Temperatura de almacenamiento: El transmisor no deberá dañarse al ser almacenado a una temperatura ambiente en el rango de - 30 a 70 grados Celsius.
- 1.3 Rating de protección IP: La caja del dispositivo deberá clasificarse como IP5X.  
Comentario: la clasificación como IP5x implica:
  - La protección respecto al ingreso de agua no se especifica.
  - El transmisor deberá estar protegido contra el ingreso de polvo en cantidades que interfieran con su correcto funcionamiento.

#### 2. Interfaz con el usuario:

- 2.1 Llave de encendido/apagado: El transmisor deberá contar con una llave de encendido y apagado
- 2.2 Indicadores luminosos: Deberá contar con tres LEDs (LED1, LED2 y LED3):
  - 2.2.1 LED1: De color verde, encendido si el transmisor está encendido, a la vista del usuario.
  - 2.2.2 LED2: De color rojo, encendido si el sistema de seguridad está activo, a la vista del usuario.

- 2.2.3 LED3: Debe encender y apagar con un periodo de 1 s mientras se reciban comandos válidos por bluetooth y apagarse permanentemente en caso contrario, con fines de diagnóstico, no debe estar a la vista del usuario.
- 2.3 Botón de reset: Deberá contar con un pulsador que resetee el transmisor al ser presionado.

### 3. Amplificador de potencia:

- 3.1 Arquitectura: Clase E.
- 3.2 Frecuencia de salida: La frecuencia de salida deberá ser  $13,56 \pm 0,007\text{MHz}$ .
- 3.3 Corriente de salida: Deberá ser capaz de entregar una corriente de pico máxima de  $2A$  sobre una carga  $R - L$  con  $L = 2,2\mu\text{H}$  y  $R = 3\Omega$ .
- 3.4 Rendimiento del amplificador: el amplificador contará con una eficiencia de al menos 80 %.
- 3.5 Regulación de la corriente de salida: Deberá poder regular la corriente de pico de salida en un rango de 0 a  $2A$  y pasos de  $100mA$ .
- 3.6 Distorsión armónica: La amplitud de los armónicos de la corriente de salida deberá ser tal que al alimentar con el transmisor una bobina circular de 60cm de diámetro, hecha con cable de cobre de 1.13 mm de radio y una sola vuelta, el campo eléctrico en la aproximación de campo lejano a 300 mts no sobrepasa los  $25 \mu\text{V/m}$  para cualquier dirección de radiación considerada.

### 4. Alimentación:

- 4.1 Alimentación del sistema : El sistema se alimentará desde la red 220V/50 Hz.
- 4.2 Convertidor  $AC - DC$ : el conversor deberá ser capaz de convertir un voltaje 220 – 50Hz a un voltaje  $DC$  la cual alimenta el amplificador de potencia.

### 5. Etapa digital:

#### 5.1 Microcontrolador:

- 5.1.1 Frecuencia de Reloj: Deberá contar con una frecuencia de reloj superior a  $13.56\text{MHz}$ , para controlar el conmutador de la etapa de potencia.
- 5.1.2 Capacidad de procesamiento: Tomar acciones de control, en un tiempo máximo de 10 ms.
- 5.2 Comunicación: El protocolo de comunicación transmisor-implantable se implementará mediante Bluetooth (este protocolo de comunicación no está aún definido, ya que depende de otros integrantes que integran el proyecto FMV-I3).

### 6. Requerimientos generales

- 6.1 Rendimiento total: En condiciones de máxima corriente de salida (ver punto 3.3), el sistema deberá tener una eficiencia mínima desde la red (AC-220V-50Hz/110V-60Hz a AC-6V-13.56MHz) de al menos 70 %.

## 10. Objetivos específicos

Para cumplir con el objetivo del proyecto se debe finalizar el diseño, construcción y testeo del transmisor solicitado. Se distinguen objetivos específicos por cada etapa de proyecto:

### Etapa de potencia :

- Diseño y elección de componentes del amplificador de potencia clase E ZVS. Se comprobará el correcto funcionamiento del amplificador mediante las simulaciones verificando la frecuencia de trabajo, la eficiencia, la corriente de salida, y la distorsión armónica.

**Entregable: Esquemático con el diseño del amplificador y simulaciones que corroboren los requerimientos específicos 3.2, 3.3, 3.4 y 3.6.**

- Construcción del amplificador de potencia clase E ZVS. Se comprobará el correcto funcionamiento del circuito (a partir de la verificación de los requerimientos específicos 3.2, 3.3, 3.4 y 3.6 mediante los ensayos detallados en la figura I) verificando las similitudes y discrepancias con las simulaciones.

**Entregable: Prototipo de la etapa de potencia del amplificador, reporte de similitudes y discrepancias entre el prototipo y las simulaciones.**

#### Fuente de alimentación:

- Elección y compra de la fuente de corriente para alimentar el amplificador de potencia. Se comprobará que la eficiencia de la misma en conjunto con el amplificador se corresponda con el requerimiento detallado 6.1.

**Entregable: Fuente de alimentación, reporte de eficiencia.**

#### Etapa digital:

- Compra del microprocesador y módulo de comunicación Bluetooth y desarrollo de Software. Se comprobará que el sistema pueda recibir correctamente los mensajes transmitidos por el dispositivo implantable. Nota: Se definirá a medida de que se desarrolle el proyecto si se implementará el software que recibirá los mensajes por bluetooth o se utilizará una implementación ya realizada.

**Entregable: Prototipo de la etapa digital, reporte de funcionamiento.**

- Integración de los componentes digitales al amplificador de potencia. Se comprobará el ajuste de corriente de salida de acuerdo a el requerimiento detallado en 3.5.

**Entregable: Prototipo de etapa de potencia y etapa digital integrados, reporte de medida de corriente de salida.**

#### Etapa de seguridad:

- Diseño e implementación del mecanismo de seguridad para evitar roturas en los componentes internos del transmisor.

**Entregable: Integración del prototipo del mecanismo de seguridad al prototipo de la etapa de potencia.**

#### Prototipo final:

- Compra de materiales y construcción del prototipo final. Se verificará que este cumpla todas los requerimientos impuestos por el cliente.

**Entregable: Transmisor finalizado, reporte de medidas de acuerdo a los requerimientos detallados en la figura I.**

## 11. Tareas

En las figuras 2, 3 y 4 se detallan el WBS y la descripción de tareas asociada. En las páginas 17, 18 ,19 y 20 se detalla en diagrama de Gantt, en el cual se aprecia la dependencia entre tareas.

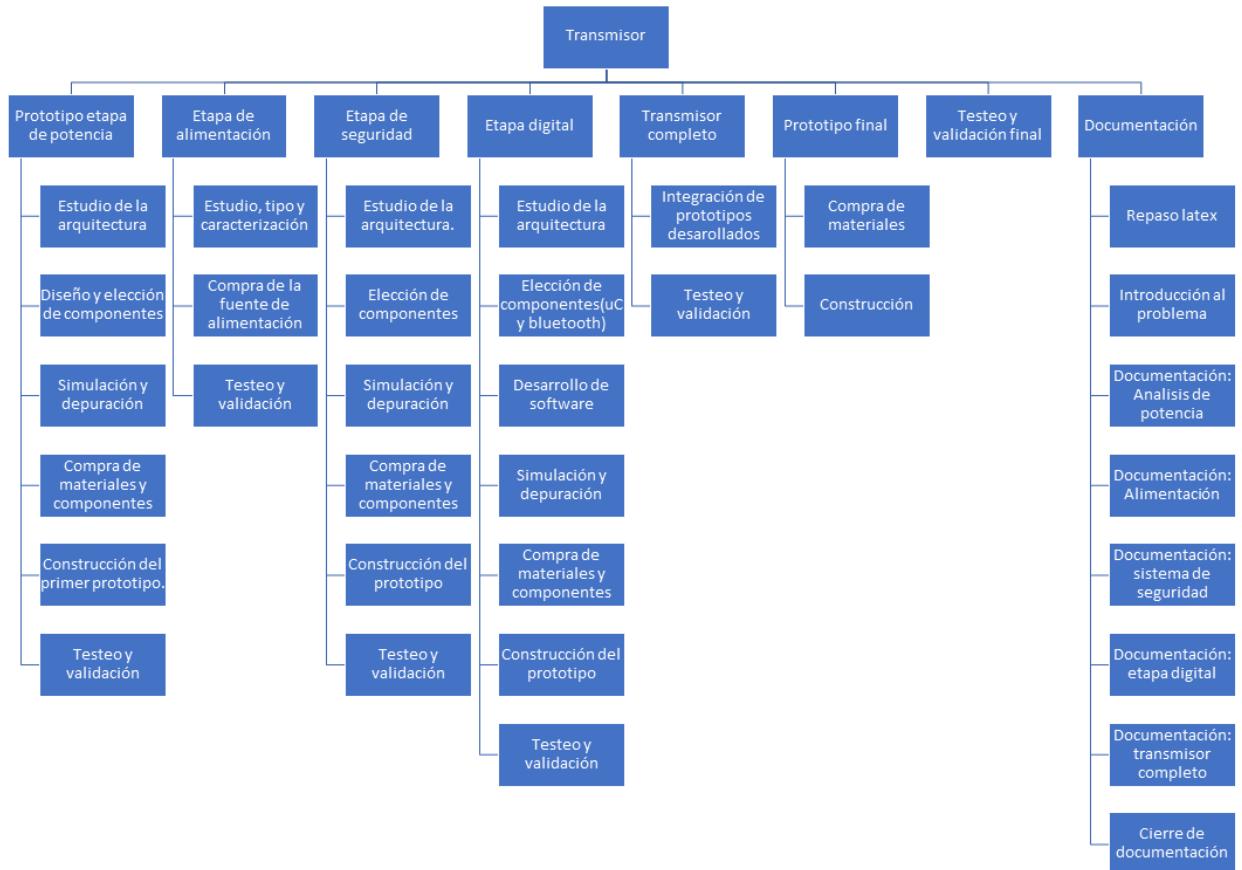


Figura 2: División de tareas, diagrama WBS

Tarea	Fecha inicio	Fecha fin	Recursos necesarios (horas)	Tiempo estimado (días)	Recursos Asignados (horas)
Potencia/Estudio arquitectura	1/4/2020	14/4/2020	50 h	14	25 h Diaz, 25 h Sivolella
Potencia/Diseño y elección de componentes	15/4/2020	24/4/2020	50 h	10	25 h Diaz, 25 h Sivolella
Potencia/Simulación y depuración	25/4/2020	8/5/2020	40 h	14	40 h Sivolella
Potencia/Compra mat. y comp.	9/5/2020	15/5/2020	10 h	7	10 h Sivolella
Potencia/Construcción prototipo	30/6/2020	9/7/2020	30 h	10	30 h Sivolella
Potencia/Testeo y validación	10/7/2020	23/7/2020	35 h	14	35 h Sivolella
Alimentación/Estudio tipo y arq.	25/4/2020	29/4/2020	20 h	5	20 h Diaz
Alimentación/Compra	30/4/2020	29/5/2020	10 h	30	10 h Diaz
Alimentación/Testeo y validación	21/7/2020	23/7/2020	20 h	3	20 h Diaz
Seguridad/Estudio arquitectura	24/7/2020	6/8/2020	30 h	14	30 h Sivolella
Seguridad/Estudio Elección de componentes	7/8/2020	13/8/2020	30 h	7	30 h Sivolella
Seguridad/Simulación y depuración	14/8/2020	20/8/2020	30 h	7	30 h Sivolella
Seguridad/Compra mat. y comp.	21/8/2020	27/8/2020	10 h	7	10 h Sivolella
Seguridad/Construcción prototipo	28/9/2020	7/10/2020	50 h	10	50 h Sivolella
Seguridad/Testeo y validación	8/10/2020	21/10/2020	50 h	14	50 h Sivolella

Figura 3: Descripción de tareas, recursos necesarios, tiempo estimado y fecha de inicio/fin.

Tarea	Fecha inicio	Fecha fin	Recursos necesarios (horas)	Tiempo estimado (días)	Recursos asignados (horas)
Digital/Estudio arquitectura	24/7/2020	6/8/2020	60 h	14	60 h Díaz
Digital/Elección de componentes	7/8/2020	16/8/2020	40 h	10	40 h Díaz
Digital/Desarrollo de software	17/8/2020	15/9/2020	60 h	30	60 h Díaz
Digital/Simulación y depuración	16/9/2020	4/10/2020	45 h	19	45 h Díaz
Digital/Compra mat. y comp.	17/8/2020	15/9/2020	10 h	30	10 h Díaz
Digital/Construcción prototipo	5/10/2020	11/10/2020	20 h	7	20 h Díaz
Digital/Testeo y validación	12/10/2020	21/10/2020	30 h	10	30 h Díaz
Proto. trans. comp. /Integración	22/10/2020	28/10/2020	60 h	7	30 h Díaz, 30 h Sivolella
Proto. trans. comp. /Testeo y validación	29/10/2020	12/11/2020	60 h	15	30 h Díaz, 30 h Sivolella
Constr. trans. comp./Compra de mat.	13/11/2020	12/12/2020	10 h	30	5 h Diaz, 5 h Sivolella
Constr. trans. comp./Construcción	12/1/2021	31/1/2021	60 h	20	30 h Diaz, 30 h Sivolella
Testeo y validación	1/2/2021	7/3/2021	40 h	35	20 h Diaz, 20 h Sivolella
Documentación	1/4/2020	15/4/2021	90 h	380	45 h Diaz, 45 h Sivolella

Figura 4: Descripción de tareas, recursos necesarios, tiempo estimado y fecha de inicio/fin.

## 12. Cronograma detallado del Proyecto

En las páginas 17, 18 ,19 y 20 se detalla el diagrama de Gantt del proyecto.

## 13. Análisis de Costos

El estudio de costos realizado para el PFC contiene tres componentes:

- Estimación del presupuesto correspondiente a los materiales necesarios , así como costos asociados a su importación, impuestos, etc..
- Estimación del costo asociado a los recursos humanos (mano de obra, es decir el costo del trabajo a realizar por los dos ejecutantes del proyecto).
- Detalle del flujo de caja.

### Presupuesto de materiales:

Los materiales necesarios para llevar a cabo el proyecto se desglosan en:

- Materiales necesarios para el prototipo del amplificador de potencia y sistema de seguridad asociado.

- Materiales necesarios para el prototipo de la etapa digital.
- Fuente de alimentación.
- Materiales y PCB para la construcción final del proyecto.
- Insumos varios (estaño para soldadura, Percloruro de Hierro, placas de pertinax, etc.)

Amplificador de potencia:

Los materiales necesarios para la construcción del prototipo del amplificador de potencia y sistema de seguridad consisten en componentes electrónicos varios (condensadores, bobinas, resistencias, diodos y transistores MOS). Se estimó:

- Un presupuesto básico de 100 dólares americanos, teniendo en cuenta algunos componentes extras por si se producen roturas durante los ensayos.
- Un presupuesto extra de 50 dólares americanos debido a la incertidumbre asociada a la disponibilidad de componentes por parte de distintos proveedores, algunos nacionales y otros extranjeros, los cuales poseen distintos precios de venta. Dado lo anterior, se totaliza un presupuesto de 150 dólares americanos destinado a materiales para el prototipo del amplificador de potencia y sistema de seguridad asociado (sin contar insumos).

Etapa digital:

Los materiales necesarios para la construcción del prototipo de la etapa digital consisten en componentes electrónicos varios, microcontrolador y módulo Bluetooth. Se estimó:

- Un presupuesto básico de 50 dólares americanos, teniendo en cuenta algunos componentes extras por si se producen roturas durante los ensayos.
- Un presupuesto extra de 25 dólares americanos debido a la incertidumbre asociada a la disponibilidad de componentes por parte de distintos proveedores, algunos nacionales y otros extranjeros, los cuales poseen distintos precios de venta. Dado lo anterior, se totaliza un presupuesto de 75 dólares americanos destinado a materiales para el prototipo de la etapa digital (sin contar insumos).

Fuente de alimentación:

Para el caso de la fuente de alimentación, se estimó su costo en 50 dólares americanos.

Construcción final:

Para el caso de los materiales necesarios para la construcción final del proyecto, los cuales incluyen carcasa plástica, conectores, cables, llaves, indicadores, fabricación del PCB, etc. Se estimó:

- Un presupuesto básico de 150 dólares americanos.
- Un presupuesto extra de 75 dólares americanos debido a la incertidumbre asociada a la disponibilidad de componentes por parte de distintos proveedores, algunos nacionales y otros extranjeros, los cuales poseen distintos precios de venta. Dado lo anterior, se totaliza un presupuesto de 225 dólares americanos destinado a materiales para la construcción final del proyecto (sin contar insumos).

Insumos varios:

Para el caso de los insumos varios, se estimó un presupuesto de 50 dólares americanos.

### Fondo para imprevistos:

Se asocia un fondo por eventuales imprevistos del 10 % del presupuesto total.

Dado lo anterior, se totaliza un presupuesto de 605 dólares americanos destinado a materiales del proyecto.

### Costo de la mano de obra:

Para estimar el costo de mano de obra se estableció:

- Un costo de hora-hombre nominal de 150 pesos Uruguayos.
- Una totalidad de horas de trabajo de 1050 horas, obtenidas como el producto de los 35 créditos que brinda la unidad curricular PFC, las 15 horas de trabajo que corresponden a cada crédito y las 2 personas ejecutantes del proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior, el costo de mano de obra resulta ser de 157.000 pesos Uruguayos.

### Flujo de caja:

Trimestre	Concepto	Ingreso (U\$S)	Egreso (U\$S)	Flujo efectivo (U\$S)
Abril-Junio 2020	Retiro fondo ANII FMV-I3	200		0
	Compra de materiales para prototipo de amplificador de potencia, compra de insumos varios.		200	
Julio-Setiembre 2020	Retiro fondo ANII FMV-I3	350		275
	Compra de materiales para prototipo de etapa digital.		75	
Octubre-Diciembre 2020	Compra de fuente de alimentación.		50	-275
Enero-Marzo 2021	Compra de materiales para construcción del transmisor completo.		225	

Figura 5: Flujo de caja

## 14. Análisis de Riesgos

- **R1:** En caso de extenderse la restricción de concurrencia a la facultad, podría solaparse con la fecha en la que se tiene planificado a construir y testear el primer prototipo de prueba, en el cual necesitará el equipamiento disponible en los laboratorios del IIE.

**Plan de respuesta:** Solicitar al instituto los kits brindados durante el curso Electrónica Fundamental (Analog Discovery 2), para poder realizar pruebas desde la casa.

**Probabilidad de Ocurrencia:** Poco probable

**Nivel de Impacto:** Medio

- **R2:** El control de corriente de salida será mediante comandos bluetooth enviados por el implantable, el cual otro proyecto de fin de carrera estará encargado de su desarrollo. Si al momento de empezar a desarrollar la recepción de datos el otro equipo no tiene pronto la información a enviar se sufrirá un retraso en el desarrollo del mismo. Otro riesgo vinculado con esto es el cambio en el protocolo de comunicación luego de la compra del módulo bluetooth el cual implicaría la compra de un nuevo módulo.

**Plan de respuesta:** en la imposibilidad de avanzar en la comunicación entre transmisor e implantable se puede trabajar o avanzar con otra sección del proyecto, por ejemplo: documentación.

**Probabilidad de Ocurrencia:** Poco probable

**Nivel de Impacto:** Alto

- **R3:** La topología elegida para el diseño de la etapa de potencia no sea la adecuada para manejar una carga de salida variable. Ante un leve cambio de carga el amplificador disminuya su eficiencia abruptamente ( $<50$ ), o los componentes empiezan a operar fuera de su rango de funcionamiento.

**Plan de respuesta:** Estudios de otras topologías que se adapten al cambio de carga

**Probabilidad de Ocurrencia:** Moderado

**Nivel de Impacto:** Alto

- **R4:** El abandono de un integrante del grupo. Plan de respuesta: reformulación del alcance del proyecto, ya que para una persona no es viable.

**Probabilidad de Ocurrencia:** Poco probable

**Nivel de Impacto:** Extremo

- **R5:** A la hora de la compra de los componentes haya un retraso en el depósito del capital.

**Plan de respuesta:** Realizar las compras con el capital de los integrantes del grupo que luego será repuestado por el depósito del cliente.

**Probabilidad de Ocurrencia:** Moderado

**Nivel de Impacto:** Bajo

		Probabilidad de Ocurrencia		
		Poco Probable	Moderado	Muy probable
Nivel de Impacto	Ninguno			
	Bajo		R5	
	Medio	R1		
	Alto	R2	R3	
	Extremo	R4		

Figura 6: Tabla de riesgos antes del análisis de impacto.

### Análisis de impacto

Para bajar la Probabilidad de Ocurrencia de R3, se agrega más dedicación horaria en la simulación y depuración del diseño del primer prototipo de la etapa de potencia. Haciendo más énfasis en las simulaciones con cargas variables, para poder hacer una elección temprana sobre

la validez de la topología del circuito, evitando la pérdida de tiempo en compra y construcción del prototipo.

		Probabilidad de Ocurrencia		
		Poco Probable	Moderado	Muy probable
Nivel de Impacto	Ninguno			
	Bajo		R5	
	Medio	R1		
	Alto	R2, R3		
	Extremo	R4		

Figura 7: Tabla de riesgos luego del análisis de impacto.

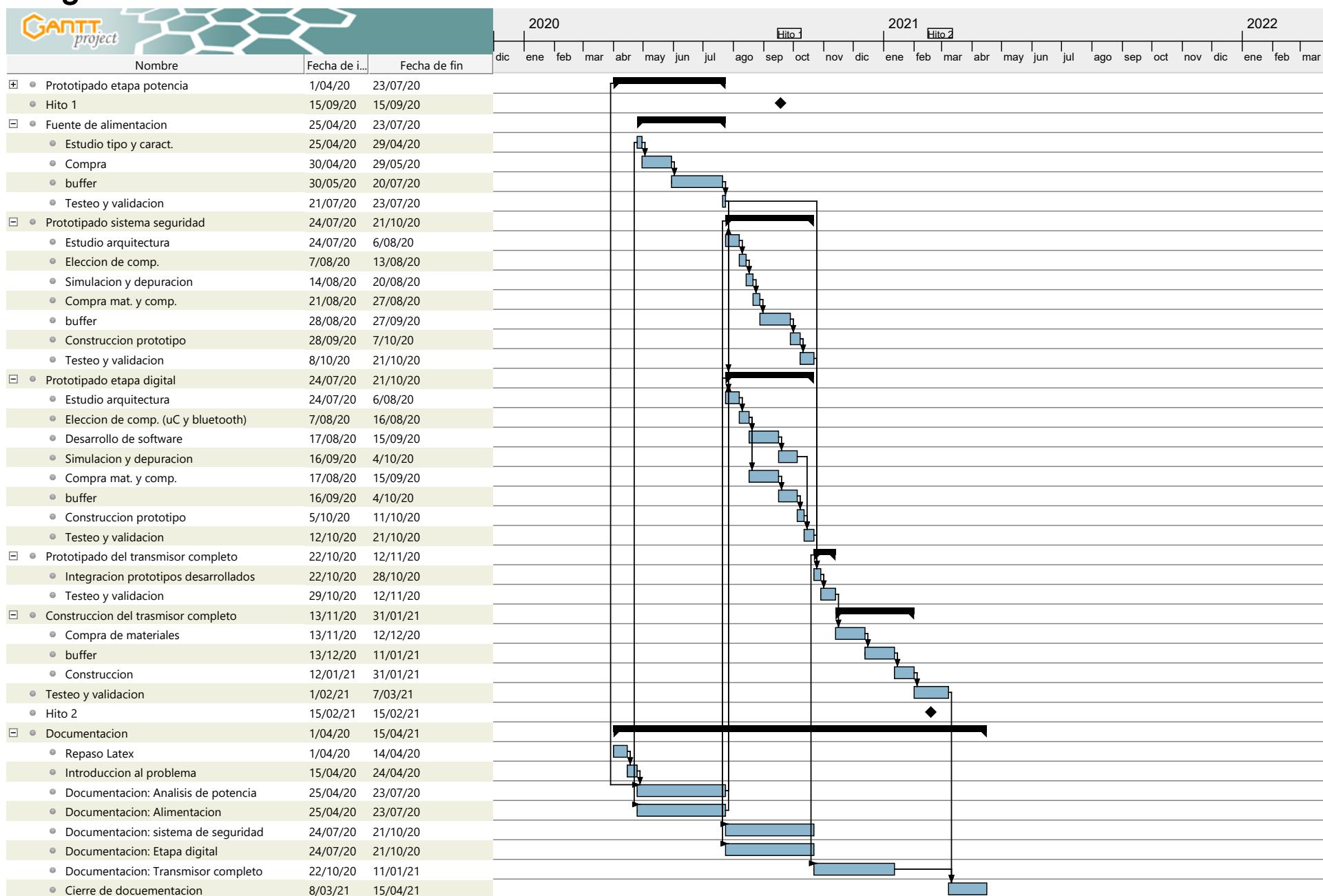
## Tarea

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Prototipado etapa potencia	1/04/20	23/07/20
Estudio arquitectura	1/04/20	14/04/20
Diseño y elección de comp.	15/04/20	24/04/20
Simulación y depuración	25/04/20	8/05/20
Compra mat. y comp.	9/05/20	15/05/20
buffer	16/05/20	29/06/20
Construcción prototipo	30/06/20	9/07/20
Testeo y validación	10/07/20	23/07/20
Hito 1	15/09/20	15/09/20
Fuente de alimentación	25/04/20	23/07/20
Estudio tipo y caract.	25/04/20	29/04/20
Compra	30/04/20	29/05/20
buffer	30/05/20	20/07/20
Testeo y validación	21/07/20	23/07/20
Prototipado sistema seguridad	24/07/20	21/10/20
Estudio arquitectura	24/07/20	6/08/20
Elección de comp.	7/08/20	13/08/20
Simulación y depuración	14/08/20	20/08/20
Compra mat. y comp.	21/08/20	27/08/20
buffer	28/08/20	27/09/20
Construcción prototipo	28/09/20	7/10/20
Testeo y validación	8/10/20	21/10/20
Prototipado etapa digital	24/07/20	21/10/20
Estudio arquitectura	24/07/20	6/08/20
Elección de comp. (uC y bluetooth)	7/08/20	16/08/20

**Tarea**

Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
Desarrollo de software	17/08/20	15/09/20
Simulacion y depuracion	16/09/20	4/10/20
Compra mat. y comp.	17/08/20	15/09/20
buffer	16/09/20	4/10/20
Construccion prototipo	5/10/20	11/10/20
Testeo y validacion	12/10/20	21/10/20
Prototipado del transmisor completo	22/10/20	12/11/20
Integracion prototipos desarrollados	22/10/20	28/10/20
Testeo y validacion	29/10/20	12/11/20
Construccion del trasmisor completo	13/11/20	31/01/21
Compra de materiales	13/11/20	12/12/20
buffer	13/12/20	11/01/21
Construccion	12/01/21	31/01/21
Testeo y validacion	1/02/21	7/03/21
Hito 2	15/02/21	15/02/21
Documentacion	1/04/20	15/04/21
Repaso Latex	1/04/20	14/04/20
Introduccion al problema	15/04/20	24/04/20
Documentacion: Analisis de potencia	25/04/20	23/07/20
Documentacion: Alimentacion	25/04/20	23/07/20
Documentacion: sistema de seguridad	24/07/20	21/10/20
Documentacion: Etapa digital	24/07/20	21/10/20
Documentacion: Transmisor completo	22/10/20	11/01/21
Cierre de docuementacion	8/03/21	15/04/21

# Diagrama de Gantt



## Diagrama de recursos

