



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

# **Detección de lesiones óseas por medio de bioimpedancia: pruebas clínicas y portabilidad**

Autor y Director:  
Antonio H. Dell'Osa

Jurado:  
Determinado por la SCyT-UNTDF (Evaluador anónimo)

*Este trabajo fue realizado en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 22 de junio de 2020 y el 22 de Agosto de 2020.*

## Índice

Registros de cambios . . . . .	3
Acta de Constitución del Proyecto . . . . .	4
Descripción técnica-conceptual del Proyecto a realizar . . . . .	5
Identificación y análisis de los interesados . . . . .	7
1. Propósito del proyecto . . . . .	8
2. Alcance del proyecto . . . . .	9
3. Supuestos del proyecto . . . . .	10
4. Requerimientos . . . . .	11
Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ) . . . . .	12
5. Entregables principales del proyecto . . . . .	14
6. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	15
7. Diagrama de Activity On Node . . . . .	17
8. Diagrama de Gantt . . . . .	18
9. Matriz de uso de recursos de materiales . . . . .	19
10. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	21
11. Matriz de asignación de responsabilidades . . . . .	22
12. Gestión de riesgos . . . . .	24
13. Gestión de la calidad . . . . .	26
14. Comunicación del proyecto . . . . .	28
15. Gestión de Compras . . . . .	30
16. Seguimiento y control . . . . .	31
17. Procesos de cierre . . . . .	35

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	22/06/2020
1.1.1	Primera entrega (2 → 3) para ser revisada (Faltantes: Requerimientos y WBS)	10/07/2020
1.1.2	Segunda entrega (2 → 3) completa para ser revisada	17/07/2020
2.1	Primera entrega (3 → 4) para ser revisada	31/07/2020
3.1	Primera entrega (4 → 5) para ser revisada	09/08/2020
4.1	Primera entrega (5 → 6) para ser revisada	13/08/2020

## Acta de Constitución del Proyecto

Buenos Aires, 22 de junio de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Antonio H. Dell'Osa que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará "Detección de lesiones óseas por medio de bioimpedancia: pruebas clínicas y portabilidad", consistirá esencialmente en el prototipo preliminar de un analizador multifrecuencia de bioimpedancia portátil para mediciones no invasivas en seres humanos que permita cuantificar la integración ósea de huesos largos en una escala interpretable por el usuario-médico en seres humanos, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y 90.000,00 pesos argentinos, con fecha de inicio 22 de junio de 2020 y fecha de presentación pública 04 de diciembre de 2020.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Dr. Fernando Santiago  
Universidad Nacional de Tierra del Fuego

Antonio H. Dell'Osa  
Director del Trabajo Final

## Descripción técnica-conceptual del Proyecto a realizar

A partir del descubrimiento de la radiología por emisión de rayos X para la generación de imágenes diagnósticas este campo de la medicina no ha dejado de crecer: ecografía por ultrasonido, tomografía axial computada, angiografía, resonancia magnética, entre otras. No obstante, con ninguna de estas técnicas se ha podido proyectar un equipamiento portátil que permita detectar fracturas de lesiones óseas. En este proyecto se propone el desarrollo de un dispositivo portátil para la detección de fracturas de huesos largos por medio del análisis de propiedades eléctricas, es decir, medidas de bioimpedancia. Este tipo de tecnología brinda la posibilidad de ser aplicada en equipos electrónicos portátiles como solución a la atención de emergencias médicas en tres escenarios: lugares de geografías extremas aisladas (zonas de montaña o continente antártico), lugares aislados (lejos de centros de salud) y zonas urbanas (generando un diagnóstico temprano que evite el traslado de un paciente a un centro hospitalario). Esto proveería diagnósticos in-situ, in-vivo, inocuos y no invasivos, lo que constituye a este proyecto en un desarrollo sin antecedentes a nivel mundial.

El Ing. Dell'Osa con colegas externos a este proyecto ha realizado modelos físicos y computacionales para estudiar la variación de las mediciones de bioimpedancia sobre estructuras biológicas con hueso roto y entero y la dispersión de las corrientes eléctricas aplicadas en el tejido humano in-vivo. A su vez, en colaboración con investigadores del Policlínico Universitario de Cagliari (Italia) se elaboró un protocolo para mediciones clínicas sobre pacientes y voluntarios que fue implementado sobre un dispositivo no-portátil basado en el AD5933EB (Analog Devices©, USA) con una interfaz altamente técnica para el usuario-médico.

En el presente proyecto consta del desarrollo de un prototipo preliminar de un analizador multifrecuencia de bioimpedancia portátil para mediciones no invasivas en seres humanos que permita cuantificar la integración ósea de huesos largos en una escala y una interfaz interpretable por el usuario-médico.

En la Figura 1 se muestra en un diagrama en bloques las partes principales del sistema a desarrollar. El sistema de control, comunicación y grabado de mediciones está implementado por medio de Raspberry Pi 4 que se comunica por medio de I2C con un sistema basado en el AD5933 que es el encargado de tomar las mediciones en configuración bipolar. La interfaz con el usuario-médico se brindará por medio de una aplicación para Smartphone, tablet y PC, la comunicación entre este dispositivo y la Raspberry Pi 4 será inalámbrica (WiFi o Bluetooth).

El circuito integrado AD5933 (Analog Devices, USA) tiene en sí mismo implementadas las soluciones necesarias al análisis espectroscópico de impedancia. El sistema basado en este integrado es una de las tareas de este proyecto.

El presente proyecto enmarca la tesis doctoral del Ing. Dell'Osa.

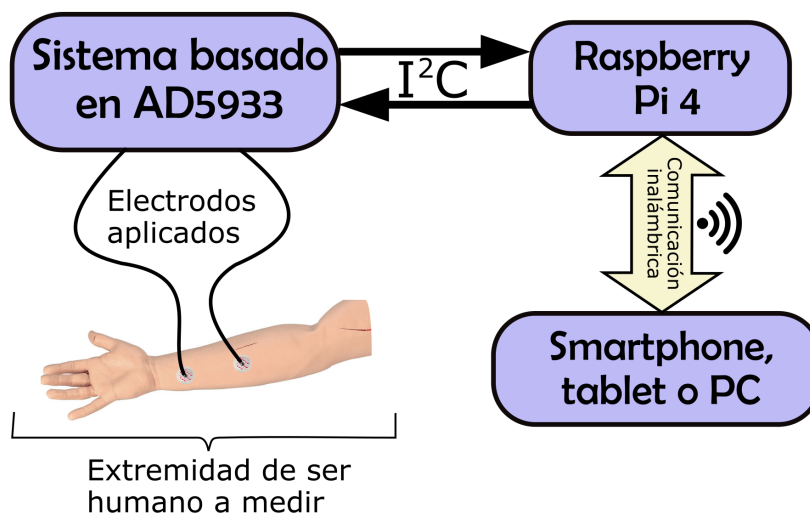


Figura 1: Diagrama en bloques del sistema

## Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante y cliente	Dr. Fernando Santiago	Universidad Nacional de Tierra del Fuego	Secretario de Ciencia y Tecnología
Responsable	Antonio H. Dell'Osa	Universidad Nacional de Tierra del Fuego	Director
Colaboradores	Ing. Agustín Mailing Lic. Fernando Silva Dr. Alejandro Masner	Independiente-FIUBA Independiente Universidad de la República (Uruguay)	- Ref: Clínico -
Equipo	Dr. Diego Dondo Lic. Guillermo Prisching	FRC-UTN Universidad Nacional de Tierra del Fuego	Ref: Electrónica Ref: Software

- Auspiciante y cliente: está condicionado por la situación presupuestaria de la Universidad a causa de la actual pandemia que condiciona la economía Nacional. La rendición de gastos se rige por la Ordenanza 5 del Consejo Superior de la Universidad Nacional de Tierra del Fuego. Se cuenta con él y el trabajo de la directora de Ciencia y Tecnología y encargo de la Unidad de Vinculación Tecnológica. La rendición final del proyecto será evaluada sólo por el informe final que se debe presentar y la consecuente rendición de gastos.
- Equipo: Diego Dondo tiene actividad docente durante los dos cuatrimestres y su disponibilidad puede condicionarse temporalmente por sus laborales en su universidad de origen. Guillermo Prisching es su primera interacción con un proyecto con el equipo y colaboradores, a priori, sus referencias hablan de compromiso y responsabilidad.
- Colaboradores: Agustín Mailing tiene mucho compromiso y disponibilidad pero se encuentra condicionado con su condición de trabajador independiente/autónomo. Fernando Silva es kinesiólogo y el aporte clínico del proyecto, puede condicionarse su aporte por el actual contexto de Pandemia y Emergencia Sanitaria.

## 1. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es el desarrollo de un prototipo calibrado y funcional de un bioimpedanciómetro para el uso específico de detección de fracturas de huesos largos en extremidades; brindando la posibilidad de un diagnóstico in-situ, no invasivo e inocuo para el paciente. A su vez, permite continuar con expansión de aplicaciones biomédicas basadas en mediciones bioimpedancia en pos de reemplazar (parcial o totalmente) métodos de diagnósticos de fisiopatologías en seres humanos que requieren de tecnologías médica con un alto grado de complejidad tecnológica, adecuación del medio ambiente hospitalario para su utilización y suministro de energía eléctrica de redes de media y/o alta tensión. Fundándose las razones del desarrollo de este proyecto tanto en la implementación de una nueva técnica diagnóstica con ventajas parciales sobre las existentes y una tecnología médica con un menor impacto al medio ambiente que las actuales.



## 2. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluye el desarrollo de un dispositivo de medición de bioimpedancia en configuración bipolar basado en el integrado AD5933 (Analog Devices, USA) para ser aplicado de modo no invasivo sobre seres humanos. El dispositivo debe ser alimentado a baterías, garantizando su autonomía y portabilidad durante -al menos- 2 horas de uso continuo.

El dispositivo deberá realizar mediciones en un rango de frecuencias de 5k Hz a 100 kHz brindando la información de dicha espectroscopía en un gráfico X-Y (dominio de la frecuencia) y en un tabla con los valores de módulo de bioimpedancia correspondiente a cada frecuencia, con la posibilidad de exportar esta tabla a un archivo extraíble.

La interfaz con el usuario se dará por una aplicación ejecutable en SmartPhone, Table o PC y la comunicación entre dispositivos será de modo inalámbrico (WiFi o Bluetooth).

El presente proyecto no incluye la construcción de electrodos aplicables al ser humano a examinar y de cables intermediarios entre dispositivo y el paciente. Se utilizarán electrodos adhesivos descartables y cables intermediarios de electrocardiografía (con aprobación de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica). Tampoco incluye el desarrollo de un software que permita el análisis de datos de bioimpedancia adquiridos.

### 3. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se cuenta con la aprobación de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (UNTDF) de la propuesta presentada a la convocatoria Proyectos de Investigación y Desarrollo de la UNTDF 2019 (PIDUNTDF2019) denominada “Detección de lesiones óseas por medio de Bioimpedancia: Pruebas clínicas, portabilidad y comercialización” y el consecuente financiamiento que la adjudicación de dicha convocatoria conlleva;
- La legislación actualmente vigente en la República Argentina relacionada a las compras de componentes electrónicos en el extranjero no sufrirá cambios;
- El valor del dolar americano no será superior a los 85 pesos argentinos, como también que los gastos realizados desde proyectos de investigación que se desarrollan en universidades nacionales argentinas no perciben el impuesto PAIS;
- Ninguno de los referentes de cada una de las áreas desertará del presente proyecto sin un previo reemplazo;
- Ningún factor externo a la realidad del presente desarrollo condicione el funcionamiento de los Comités de Bioética Hospitalaria de las instituciones sanitarias de la República Argentina, como podrían ser pandemias, catástrofes, entre otras.

## 4. Requerimientos

1. Grupo de requerimientos asociados con la normativa vigente
  - 1.1. Se debe cumplir con la normativa IRAM 4220-1 (Seguridad eléctrica de equipamiento médico)
  - 1.2. Se debe cumplir con la normativa de principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos
2. Grupo de requerimientos asociados con adquisición de datos
  - 2.1. Se debe contar con tres pares de electrodos aplicables de forma no invasiva para configuración de electrodos bipolar y selección por interruptor manual.
  - 2.2. Se debe poseer una resolución de la medición en orden de los 10 ohmios.
  - 2.3. No se debe configurar el rango de frecuencias de señales aplicables (será fijo entre 5kHz y 100kHz).
3. Grupo de requerimientos asociados con la interfaz con el usuario
  - 3.1. Se debe contar con la visualización del módulo de la bioimpedancia en el dominio de la frecuencia en gráfico XY.
  - 3.2. Se debe contar con la visualización de los valores numéricos de módulo de bioimpedancia para cada frecuencia.
  - 3.3. Se debe poder descargar de los datos medidos en un archivo formato .CSV (o similar) en una memoria extraíble (tipo microSD).
4. Grupo de requerimientos asociados con portabilidad
  - 4.1. Se debe contar con una autonomía a baterías de al menos 2 horas y conector USB para la carga de la batería.
  - 4.2. No se deben exceder las dimensiones físicas externas de 15 centímetros de largo, 8 centímetros de ancho y 3 centímetros de espesor.
  - 4.3. Se debe contar con la disipación térmica conveniente para que la carcasa externa no genere una temperatura perceptible por el usuario.
  - 4.4. Se debe contar con conectividad inalámbrica (wifi y/o Bluetooth) a un dispositivo smartphone, tablet o PC-notebook.

## Historias de usuarios (*Product backlog*)

La escala de prioridad se basa en un orden de importancia entre las mismas historias de usuario; el grado de prioridad se decrementa con el valor numérico, siendo la de menor valor numérico de mayor prioridad y la de mayor valor numérico la menor prioridad.

La escala de ponderación se basa en una parametrización subjetiva elaborada entre los miembros del equipo y los colaboradores donde se contempla el conocimiento que se tiene sobre la misma historia de usuario, la complejidad que representa, el volumen de trabajo que generará y la incertidumbre intrínseca de la misma. Dicha escala numérica es en orden creciente de dificultad comprendiendo tres valores 1 (uno), 3 (tres) y 7 (siete).

1. Como médico quiero un dispositivo capaz de realizar mediciones de bioimpedancia sobre seres humanos.
  - 1.1. Prioridad: 1
  - 1.2. Ponderación: 3
2. Como Comité de Bioética quiero que el prototipo cumpla la normativa IRAM 4220-1 con el objetivo de brindar la protección eléctrica durante una medición sobre voluntario humano.
  - 2.1. Prioridad: 2
  - 2.2. Ponderación: 7
3. Como cliente quiero un informe final escrito con el objeto de justificar la financiación otorgada y conocer la labor de cada investigador.
  - 3.1. Prioridad: 3
  - 3.2. Ponderación: 3
4. Como médico quiero una interfaz de usuario que muestre las mediciones obtenidas en forma de gráfico XY comparando con parámetros normales en escala de colores ( la nomenclatura de dicha escala debe estar en la misma interfaz).
  - 4.1. Prioridad: 4
  - 4.2. Ponderación: 7
5. Como médico quiero un dispositivo con la capacidad de conectarse a un Smartphone o Table de modo inalámbrico.
  - 5.1. Prioridad: 5
  - 5.2. Ponderación: 3
6. Como médico quiero una interfaz de usuario que permita exportar los datos medidos para que sean manipulables desde PC, Smartphone y/o tablet.
  - 6.1. Prioridad: 6
  - 6.2. Ponderación: 1
7. Como técnico en electromedicina quiero que el reemplazo de baterías sea por un repuesto adquirible en el mercado nacional para facilitar reparaciones ante usuarios que olviden recargar periódicamente el dispositivo.

- 7.1. Prioridad: 7
- 7.2. Ponderación: 3
- 8. Como médico quiero un dispositivo portátil de dimensiones que permitan que quepa en el bolsillo del ambo médico (medidas típica: 15cm x 8cm x 3 cm).
  - 8.1. Prioridad: 8
  - 8.2. Ponderación: 7
- 9. Como técnico en electromedicina quiero un manual de uso con el objeto de brindar soporte al usuario médico.
  - 9.1. Prioridad: 9
  - 9.2. Ponderación: 1

## 5. Entregables principales del proyecto

Una vez finalizado el presente proyecto se entregará:

- Dispositivo funcionando
- Manual de uso
- Certificado de aprobación de Comité de Bioética Hospitalaria
- Informe final

## 6. Desglose del trabajo en tareas

1. Gestión general de proyecto (167 hs)
  - 1.1. Fase de Inicio del proyecto (12 hs)
  - 1.2. Definición de Alcance (20 hs)
  - 1.3. Estudio de la normativa IRAM 4220-1 (40 hrs)
  - 1.4. Compras y adquisiciones (40 hs)
  - 1.5. Elaboración del manual de uso (20 hs)
  - 1.6. Rendición de compras y adquisiciones (20 hs)
  - 1.7. Escritura del informe final (15 hs)
2. Sistema autonomía energética (48 hs)
  - 2.1. Análisis y elección de batería (8 hs)
  - 2.2. Diseño de circuito de carga (8 hs)
  - 2.3. Implementación de circuito de carga (12 hs)
  - 2.4. Diseño de circuito de regulación (8 hs)
  - 2.5. Implementación de circuito de regulación (12 hs)
3. Sistema basado en AD5933 (85 hrs)
  - 3.1. Diseño del sistema (40 hs)
  - 3.2. Elaboración de la placa del circuito impreso (30 hs)
  - 3.3. Ensamble y soldado de la placa del sistema y electrodos aplicables (15 hs)
4. Software de control y comunicación basado en Raspberry Pi 4 (125 hs)
  - 4.1. Diagramación de la arquitectura (30 hs)
  - 4.2. Desarrollo del firmware de comunicación inalámbrica con dispositivo móvil (25 hs)
  - 4.3. Desarrollo del firmware de comunicación con sistema AD5933 (20 hs)
  - 4.4. Desarrollo del firmware de control (30 hs)
  - 4.5. Pruebas de funcionamiento (20 hs)
5. Software de interfaz con el usuario (52 hs)
  - 5.1. Diagramación de la interfaz (diseño y estructura) (12 hs)
  - 5.2. Desarrollo de software (25 hs)
  - 5.3. Pruebas de funcionamiento (15 hs)
6. Protocolo de medición y consentimiento informado (CI) (96 hrs)
  - 6.1. Escritura del Protocolo de Medición (4 hs)
  - 6.2. Escritura del CI (4 hs)
  - 6.3. Primer Envío del protocolo y el CI a comité de bioética externos (CBE) para su revisión (40 hs)

- 6.4. Corrección del protocolo y CI a partir de la devolución del CBE (8 hs)
- 6.5. Segundo Envío del protocolo y el CI a CBE para su aprobación definitiva (40 hs)
- 7. Ensayo integral de funcionamiento del dispositivo (95 hs)
  - 7.1. Implementación integral del dispositivo (20 hs)
  - 7.2. Mediciones sobre circuitos de componentes pasivos R-C (2 hs)
  - 7.3. Análisis de mediciones en circuito R-C (2 hs)
  - 7.4. Mediciones sobre sistemas biológicos ex-vivo (3 hs)
  - 7.5. Análisis de mediciones en sistemas biológicos ex-vivo (3 hs)
  - 7.6. Mediciones sobre voluntarios humanos (40 hs)
  - 7.7. Análisis de mediciones sobre seres humanos (25 hs)

Cantidad total de horas: 668.



## 7. Diagrama de Activity On Node

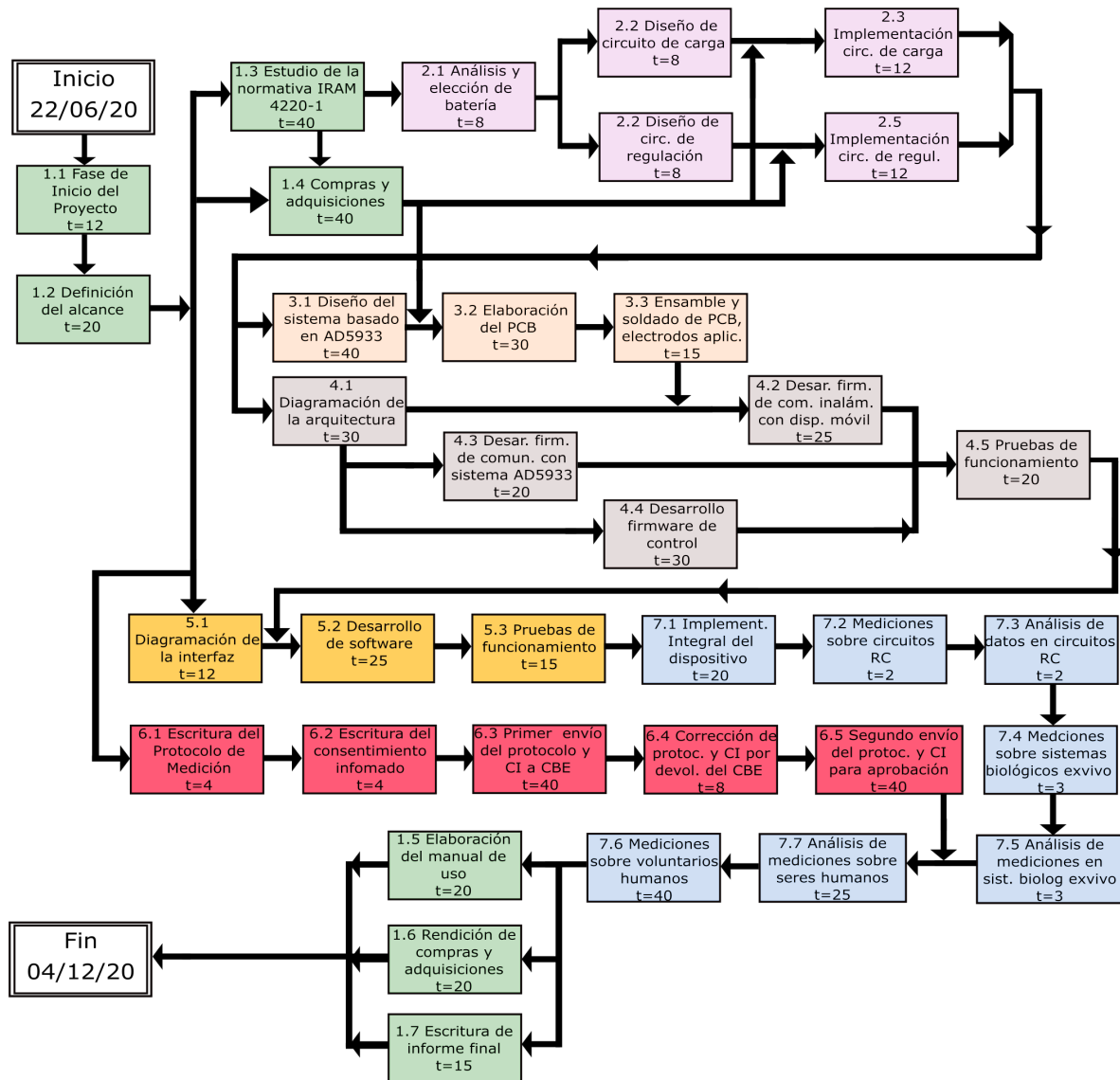


Figura 2: Diagrama en *Activity on Node*

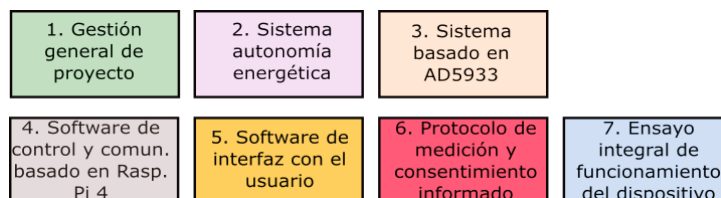


Figura 3: Código de colores para cada grupo de tareas

## 8. Diagrama de Gantt

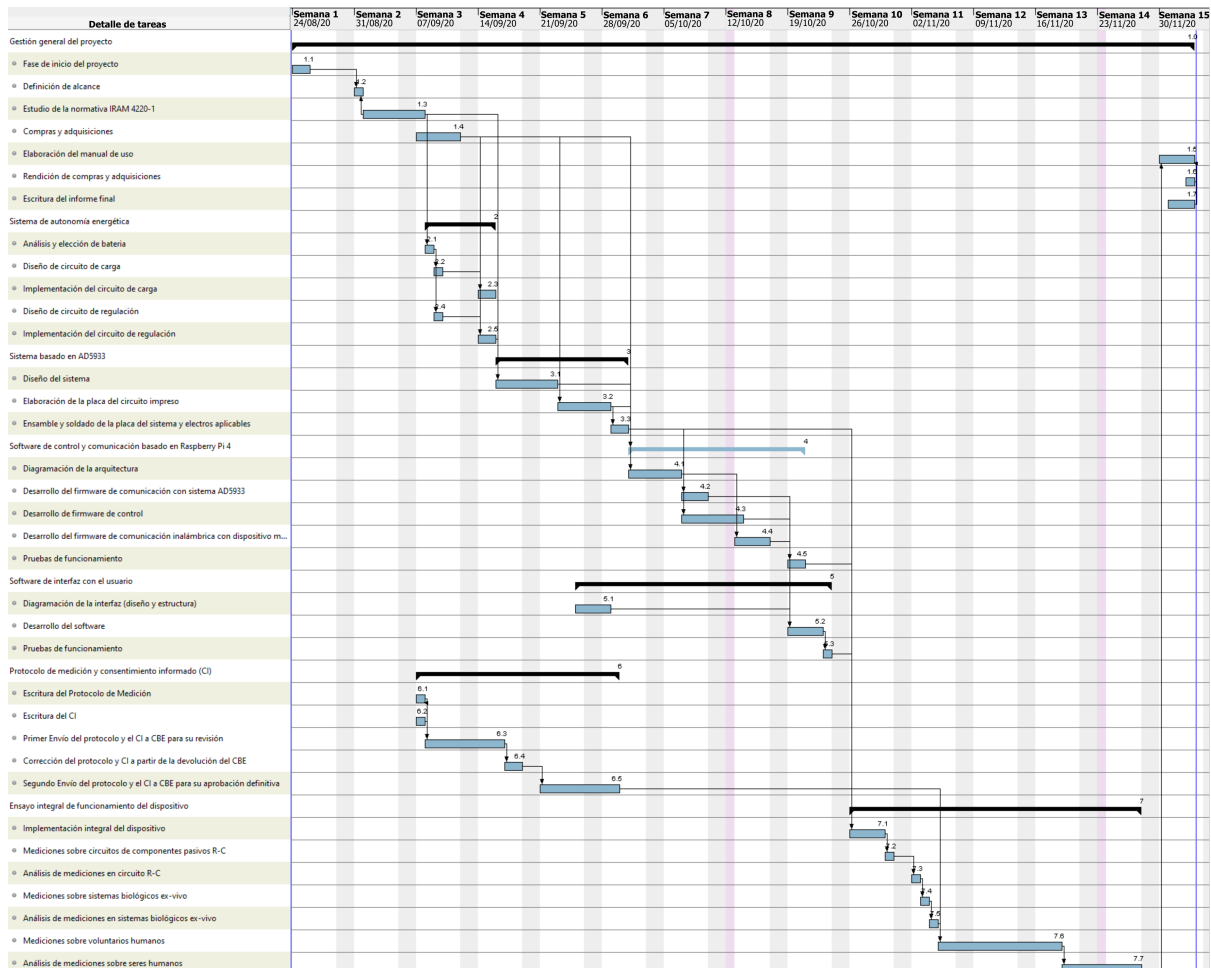


Figura 4: Diagrama de Gantt con las tareas descritas por su código

## 9. Matriz de uso de recursos de materiales

Código WBS	Nombre tarea	Recursos requeridos (horas)				
		Instrumental electrónico	Raspberry Pi4	Sistema AD5933	BioZmeter (*)	Copiadora
1.5	Elaboración del manual de uso	0	0	0	0	20
1.7	Escritura del informe final	0	0	0	0	15
2.2	Diseño de circuito de carga	8	8	0	0	0
2.3	Implementación de circuito de carga	12	12	0	0	0
2.4	Diseño de circuito de regulación	8	8	0	0	0
2.5	Implementación de circuito de regulación	12	12	0	0	0
3.1	Diseño del sistema	40	40	0	0	0
3.2	Elaboración de la placa del circuito impreso	30	0	0	0	0
3.3	Ensamble y soldado de la placa del sistema y electrodos aplicables	15	0	0	0	0
4.2	Desarrollo del firmware de comunicación inalámbrica con dispositivo móvil	0	25	25	0	0

Código WBS	Nombre tarea	Recursos requeridos (horas)				
		Instrumental electrónico	Raspberry Pi4	Sistema AD5933	BioZmeter (*)	Copiadora
4.3	Desarrollo del firmware de comunicación con sistema AD5933	0	20	20	0	0
4.4	Desarrollo del firmware de control	0	30	30	0	0
4.5	Pruebas de funcionamiento	20	20	20	0	0
5.2	Desarrollo de software	0	25	25	0	0
5.3	Pruebas de funcionamiento	0	15	15	0	0
7.2	Mediciones sobre circuitos de componentes pasivos R-C	2	2	2	2	0
7.4	Mediciones sobre sistemas biológicos ex-vivo	3	3	3	3	
7.6	Mediciones sobre voluntarios humanos	0	40	40	40	0

(\*) BioZmeter: es la denominación del dispositivo desarrollado e integrado en la tarea 7.1.

## 10. Presupuesto detallado del proyecto

El presente proyecto se lleva adelante al interno del IDEI-UNTDF, los costos indirectos corren por cuenta de la institución.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Raspberry Pi 4 4gb con Kit	2	15.629,00	31.258,00
Capacitores 885060 (kit de varios valores y cantidades)	1	14.805,00	14.805,00
Resistores KIT-RMCF0402FT-04 (kit de varios valores y cantidades)	1	3.999,47	3.999,47
Diodos TPD2E001DRLRG4	5	47,38	236,90
Integrados MIC5319-3.3YD5-TR	4	139,59	558,36
Integrados AD5933	4	4.104,00	16.416,00
Integrado LTC1044ACS8	4	618,64	2.474,56
kit Conectores 0766500009	1	8.441,61	8.441,61
Integrados OPA2376AIDGKR	5	221,02	1.105,10
Bateria (modelo a definir)	2	5.000,00	10.000,00
Latiguillos de electrocardiografía (set x5)	2	1.500,00	3.000,00
Electrodos autoadhesivos/descartables de electrocardiografía (sobre x50)	2	352,50	705,00
Cables pacientes para monitores multiparamétros con ficha DB15	1	7.000,00	7.000,00
SUBTOTAL			90.000,00
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Alquiler de locación mensual	4	20.000,00	80.000,00
Servicio de Internet (Proveedor: Ushuaia Visión S.A)	4	1.500,00	6.000,00
Servicios de Electricidad, Gas y Agua (aproximado)	4	3.000,00	12.000,00
Personal no docente administrativo (SCyT y Secretarías IDEI)	4	10.000,00	40.000,00
Personal no docente de legales (asesoramiento)	4	7.500,00	30.000,00
Personal docente-investigador involucrado	4	12.500,00	50.000,00
SUBTOTAL			218.000,00
TOTAL			308.000,00

## 11. Matriz de asignación de responsabilidades

Referencias de la siguiente tabla:

- P = Responsabilidad Primaria
- S = Responsabilidad Secundaria
- A = Aprobación
- I = Informado
- C = Consultado



Código WBS	Nombre de la tarea	Responsable Ing.Dell'Osa	Equipo Lic.Prisching	Equipo Dr.Dondo	Colaborador Lic.Silva	Colaborador Ing.Mailing	Colaborador Dr.Masner	Cliente Dr.Santiago
1	<b>Gestión general de proyecto</b>							
1.1	Fase de Inicio del proyecto	P	S	C	C			A
1.2	Definición de Alcance	P	S	C	C	C	C	A
1.3	Estudio de la normativa IRAM 4220-1	S		P		C		
1.4	Compras y adquisiciones	P	S					
1.5	Elaboración del manual de uso	P		S	C	C	C	
1.6	Rendición de compras y adquisiciones	P	S					A
1.7	Escritura del informe final	P	C	C		C		A
2	<b>Sistema autonomía energética</b>							
2.1	Análisis y elección de batería			S		P		
2.2	Diseño de circuito de carga			S		P		
2.3	Implementación de circuito de carga	A	I	S		P		
2.4	Diseño de circuito de regulación			P		S		
2.5	Implementación de circuito de regulación	A	I	P		S		
3	<b>Sistema basado en AD5933</b>							
3.1	Diseño del sistema	A		P		S		
3.2	Elaboración de la placa del circuito impreso			P		S		
3.3	Ensamble y soldado de la placa del sistema y electrodos aplicables	A	I	P	I	S		
4	<b>Software de control y comunicación basado en Raspberry Pi 4</b>							
4.1	Diagramación de la arquitectura	C	P	S		C		
4.2	Desarrollo del firmware de comunicación inalámbrica con dispositivo móvil	I	P	C				
4.3	Desarrollo del firmware de comunicación con sistema AD5933	I	P	C		C		
4.4	Desarrollo del firmware de control	C	P			S		
4.5	Pruebas de funcionamiento	A	P	S		C		
5	<b>Software de interfaz con el usuario</b>							
5.1	Diagramación de la interfaz (diseño y estructura)	A	P		C		C	
5.2	Desarrollo de software	A	P	S				
5.3	Pruebas de funcionamiento	A	P	S	C		C	
6	<b>Protocolo de medición y Consentimiento informado (CI)</b>							
6.1	Escritura del Protocolo de Medición	I			P		S	
6.2	Escritura del CI	I			S		P	
6.3	Primer Envío del protocolo y el CI a comité de bioética externos (CBE) para su revisión	P			C		S	A
6.4	Corrección del protocolo y CI a partir de la devolución del CBE	I			P		S	
6.5	Segundo Envío del protocolo y el CI a CBE para su aprobación definitiva	P			C		S	A
7	<b>Ensayo integral de funcionamiento del dispositivo</b>							
7.1	Implementación integral del dispositivo	A	S	P		C		
7.2	Mediciones sobre circuitos de componentes pasivos R-C	P		S		C		
7.3	Análisis de mediciones en circuito R-C	P	I	S		C		
7.4	Mediciones sobre sistemas biológicos ex-vivo	P		S		C	C	
7.5	Análisis de mediciones en sistemas biológicos ex-vivo	P	I	S		C	C	
7.6	Mediciones sobre voluntarios humanos	S			P		A	
7.7	Análisis de mediciones sobre seres humanos	S	I		P	C	A	I

## 12. Gestión de riesgos

Riesgo 1: Demora en la entrega del financiamiento económico brindado por la SCyT-UNTDF.

- Severidad (S): 10 - Imposibilidad de comprar el material indispensable para llevar adelante el proyecto.
- Ocurrencia (O): 7 - Inestabilidad económica del Estado Nacional repercute en las universidades nacionales.

Riesgo 2: Demoras e inconvenientes con procesos de compras y adquisiciones.

- Severidad (S): 10 - Imposibilidad de contar con los materiales indispensables.
- Ocurrencia (O): 6 - Los proyectos de investigación suelen no ser una prioridad frente a necesidades de docencia y/o rescate económico de estudiantes en la UNTDF.

Riesgo 3: Rotura del integrado AD5933 y Raspberry Pi por configuración eléctrica errónea o extravío.

- Severidad (S): 9 - Ambos componentes son las parte neurálgica del prototipo.
- Ocurrencia (O): 5 - Los laboratorios de trabajo son compartidos con otros proyectos, usuarios y los estudiantes tienen acceso pseudo ilimitado.

Riesgo 4: Deserción de algún miembro del equipo o colaborador.

- Severidad (S): 8 - Cada interesado de estos grupos realiza tareas que otro miembro no realiza en su totalidad, la deserción de un miembro sobrecargaría de trabajo a dos o más miembros.
- Ocurrencia (O): 3 - El compromiso asumido esta garantizado por experiencia de otros trabajos anteriores.

Riesgo 5: Inaccesibilidad a una institución de salud para tomar mediciones sobre pacientes fracturados.

- Severidad (S): 9 - No se alcanzaría la utilidad final del prototipo.
- Ocurrencia (O): 5 - No es la prioridad de una institución de salud atender las pruebas de investigadores externos. Esta ponderación aumenta a 10 en épocas de pandemia.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1.Demora en la entrega del financiamiento económico brindado por la SCyT-UNTDF	10	7	70	10*	3*	30*
2.Demoras e inconvenientes con procesos de compras y adquisiciones	10	6	60	3*	5*	15*
3.Rotura del integrado AD5933 y Raspberry Pi por configuración eléctrica errónea	9	5	45	5*	3*	15*
4.Deserción de algún miembro del equipo o colaborador	8	3	24	-	-	-
5.Inaccesibilidad a una institución de salud para tomar mediciones sobre pacientes fracturados	9	5	45	4*	3*	12*



Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 40. Las escalas numéricas de Severidad y Ocurrencia son 1 a 10, aumentando el riesgo con el valor correspondiente. Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: Demora en la entrega del financiamiento económico brindado por la SCyT-UNTDF. Mitigación: Búsqueda de ayudas económicas del Estado provincial y de donaciones en la industria electrónica fueguina.

- Severidad (S): 10 - Continúa la imposibilidad de comprar el material indispensable en caso que el riesgo se concrete.
- Ocurrencia (O): 3 - En los últimos 3 años los proyectos a cargo del responsable del presente se han llevado adelante mediante estos recursos financieros y materiales.

Riesgo 2: Demoras e inconvenientes con procesos de compras y adquisiciones.

Mitigación: Búsqueda de ayudas económicas del Estado provincial y de donaciones en la industria electrónica fueguina.

- Severidad (S): 3 - Las compras se realizan de forma directa sin la necesidad de trámites administrativos.
- Ocurrencia (O): 5 - Posibilidad de inconvenientes a nivel de importaciones.

Riesgo 3: Rotura del integrado AD5933 y Raspberry Pi por configuración eléctrica errónea o extravío.

Mitigación: Adquisición de dos o más de cada uno de estos componentes y alojarlos en lugares de acceso reservado para investigadores del proyecto.

- Severidad (S): 5 - En caso de rotura o extravío hay reemplazo.
- Ocurrencia (O): 3 - Ante la posesión de reemplazos y alojamiento en lugares de difícil acceso baja la probabilidad.

Riesgo 5: Inaccesibilidad a una institución de salud para tomar mediciones sobre pacientes fracturados.

Mitigación: Incorporar a instituciones de salud externas al ámbito local, incluso internacional. El responsable del proyecto trabaja establemente con grupos de investigación médica de otras ciudades argentinas y extranjeras.

- Severidad (S): 4 - Enviar el prototipo vía postal y capacitar por medio de videoconferencias.
- Ocurrencia (O): 3 - Estos grupos de investigación trabajan en instituciones de salud que son centros de investigación simultáneamente. Esta ponderación aumenta a 10 en épocas de pandemia.

## 13. Gestión de la calidad

### 1. Grupo de requerimientos asociados con la normativa vigente

#### 1.1. Se debe cumplir con la normativa IRAM 4220-1 (Seguridad eléctrica de equipamiento médico)

- Verificación: Medir las corrientes inyectadas por electrodos aplicables y corrientes de fugas por la carcasa.
- Validación: Certificado de Laboratorio de Metrología

#### 1.2. Se debe cumplir con la normativa de principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos

- Verificación: Verificar el cumplimiento del escrito elaborado con lo estipulado en la declaración de Helsinki del año 2000.
- Validación: Acta de aprobación de comité de bioética.

### 2. Grupo de requerimientos asociados con adquisición de datos

#### 2.1. Se debe contar con tres pares de electrodos aplicables de forma no invasiva para configuración de electrodos bipolar y selección por interruptor manual.

- Verificación: Contar la cantidad de electrodos y realizar mediciones con cada par de ellos sobre fantasmas eléctricos.
- Validación: Demostración sobre fantasmas seleccionando desde la interfaz de usuario cada uno de los tres pares de electrodos.

#### 2.2. Se debe poseer una resolución de la medición en orden de los 10 ohmios.

- Verificación: Tomar mediciones sobre fantasmas eléctricos con resistencias variables de alta precisión en los rangos de la precisión necesaria y comparar con simulaciones computacionales.
- Validación: Certificado de Laboratorio de Metrología.

#### 2.3. No se debe configurar el rango de frecuencias de señales aplicables (será fijo entre 5kHz y 100kHz).

- Verificación: Realizar mediciones con espectroscopio.
- Validación: Demostración de una medida estándar sobre fantoma y nuestra de resultado en forma gráfica en el dominio de la frecuencia.

### 3. Grupo de requerimientos asociados con la interfaz con el usuario

#### 3.1. Se debe contar con la visualización del módulo de la bioimpedancia en el dominio de la frecuencia en gráfico XY.

#### 3.2. Se debe contar con la visualización de los valores numéricos de módulo de bioimpedancia para cada frecuencia.

- Verificación: Realizar una inspección visual de los resultados obtenidos y la correcta realización del gráfico XY con el dominio en los valores de frecuencia y la imagen en los valores del módulo de impedancia en la interfaz del usuario desarrollada.
- Validación: Visualización de los resultados obtenidos en ambos formatos (gráfico XY y tabla de valores) a partir de la prueba de demostración con un fantoma.

3.3. Se debe poder descargar de los datos medidos en un archivo formato .CSV (o similar) en una memoria extraíble (tipo microSD).

- Verificación: Realizar inspección de la correcta generación del archivo en el formato correspondiente (datos separados por comas) y de la correcta escritura en una memoria extraíble.
- Validación: Descarga de los datos en una memoria extraíble y apertura del archivo en un PC.

#### 4. Grupo de requerimientos asociados con portabilidad

4.1. Se debe contar con una autonomía a baterías de al menos 2 horas y conector USB para la carga de la batería.

- Verificación: Calcular el consumo estimado de una Raspberry Pi 4 y componentes electrónicos principales a partir de sus hojas de datos.
- Validación: Prueba de autonomía del prototipo en uso durante dos horas.

4.2. No se deben exceder las dimensiones físicas externas de 15 centímetros de largo, 8 centímetros de ancho y 3 centímetros de espesor.

- Verificación: Realizar mediciones de las dimensionales de la carcasa externa en escala de centímetros.
- Validación: Mostrar resultados de las mediciones dimensionales.

4.3. Se debe contar con la disipación térmica conveniente para que la carcasa externa no genere una temperatura perceptible por el usuario.

- Verificación: Realizar mediciones térmicas a carcasa cerrada durante el funcionamiento continuo del prototipo.
- Validación: Mostrar resultados de las mediciones térmicas.

4.4. Se debe contar con conectividad inalámbrica (wifi y/o Bluetooth) a un dispositivo smartphone, tablet o PC-notebook.

- Verificación: Inspeccionar el correcto funcionamiento de conectividad en cada uno de los dispositivos detallados.
- Validación: Demostración de la prestación en smartphone, tablet o PC-notebook

## 14. Comunicación del proyecto

El plan de comunicación del proyecto es el siguiente:

PLAN DE COMUNICACIÓN DEL PROYECTO					
¿Qué comunicar?	Audiencia	Propósito	Frecuencia	Método de comunicac.	Responsable
Aprobación y adjudicación del proyecto	Todos los interesados	Dar inicio a las actividades	Única vez	Correo electrónico	Ing. Dell'Osa
Compras y adquisiciones	Lic. Prisching, Dr. Dondo, Ing. Mailing	Grado de avance de las adquisiciones	Semanal(*)	Correo electrónico	Ing. Dell'Osa
Estado de hardware	Ing. Dell'Osa, Lic. Prisching, Ing. Mailing	Grado de avance de hardware	Quincenal	Videoconferencia	Dr. Dondo
Estado de software	Ing. Dell'Osa, Dr. Dondo, Ing. Mailing	Grado de avance del software	Quincenal	Videoconferencia	Lic. Prisching
Estado del Protocolo de medición y CI	Lic. Silva, Dr. Masner	Grado de avance de escritura y aprobación	Semanal	Correo electrónico	Ing. Dell'Osa
Desarrollo de interfaz-usuario	Ing. Dell'Osa, Lic. Silva, Dr. Masner	Relevar requerimientos y previsualizaciones con usuarios-medicos	Semanal(*)	Videoconferencia	Lic. Prisching
Mediciones realizadas con prototipo funcional	Todos los interesados	Correcto funcionamiento y/o posibles ajustes	Semanal(*)	Videoconferencia y correo electrónico	Ing. Dell'Osa
Informe final	Todos los interesados	Presentación final del proyecto y rendición de gestión	Única vez	Reunión personal y videoconferencia	Ing. Dell'Osa

Referencias de la tabla:

- (\*) La frecuencia mencionada será sólo durante el periodo de duración de la tarea.
- Estado de hardware: refiere a las tareas vinculadas con el diseño, desarrollo e implementación de partes electrónicas.
- Estado de software: refiere a las tareas vinculadas con el diseño, desarrollo e implementación arquitectura, firmware y aplicaciones.

## 15. Gestión de Compras

El proyecto requiere de la adquisición de los insumos que se detallan en la sección **Presupuesto detallado del proyecto**, las mismas se deben realizar mediante la normativa interna de la UNTDF denominada Régimen especial de contrataciones aplicables a proyectos de investigación, extensión, vinculación tecnológica y servicios a terceros (Ordenanza del Consejo Superior número 005-2016). De la misma, en lo que compete al presente proyecto, se resume que según su artículo cuarto hay dos modalidades de adquisiciones:

- adquisición simple: cuando el monto no exceda la suma equivalente al valor de diez módulos la contratación se realizará sin requerimiento de presupuesto por parte del proveedor;
- comparación de precios: cuando se supere el límite para una adquisición simple y hasta un valor máximo equivalente de ochenta módulos, se deberá acreditar la compra por medio de, al menos, tres presupuestos de distintos oferentes del rubro.
- Al 9 de agosto de 2020 el valor de un módulo es de dos mil pesos argentinos.

En cualquiera de los casos detallados la compra puede ser gestionada por el área de administración de la UNTDF o el investigador a cargo del proyecto podrá solicitar el adelanto del total del dinero correspondiente (según lo establecido en la adjudicación del proyecto) siempre que la cifra sea menor a doscientos mil pesos argentinos.

Los proveedores en Argentina: Electrocomponentes S.A. (CABA), HiTec S.R.L. (Prov. de Buenos Aires) y Medifarm S.R.L. (Ushuaia).

El proveedor en el extranjero: Digikey.com, no cobra el gasto de envío hasta Ushuaia con una compra superior a los ochenta dólares y los couriers con los que trabaja poseen la experiencia necesaria para evitar el cobro excesivo de aranceles por pasar por la Aduana de Buenos Aires y luego por la de Tierra del Fuego (se recuerda que la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur posee un régimen aduanero especial descrito en la Ley Nacional 19.640).

Las compras en todos los casos se realizarán por medio de pago con tarjeta débito automático (modalidad ya utilizada con todos los proveedores) vinculada con la cuenta del responsable del proyecto. Si alguna de las compras llegara a realizarse en el extranjero y se le aplicase el impuesto PAIS, el mismo responsable del proyecto puede realizar la devolución del mismo en la entidad bancaria correspondiente presentado la documentación respectiva.

## 16. Seguimiento y control

SEGUIMIENTO DE AVANCE					
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.
Estudio de la normativa IRAM 4220-1	Realizada	Única vez	Ing. Dell'Osa	Dr. Dondo	Correo electrónico
Compras y adquisiciones	Cantidad de items adquiridos	Semanal	Ing. Dell'Osa	Lic. Prisching, Dr. Dondo, Ing. Mailing	Correo electrónico
Elaboración del manual de uso	Cantidad de funciones descriptas	Diario	Ing. Dell'Osa	Dr. Dondo, Lic. Silva	Correo electrónico
Rendición de compras y adquisiciones	Realizada	Única vez	Ing. Dell'Osa	Dr. Santiago	Personalmente
Escritura del informe final	Cantidad de incisos escritos	Diario	Ing. Dell'Osa	Interesados	Correo electrónico
Análisis y elección de batería	Cantidad de baterías analizadas	Diario	Ing. Mailing	Dr. Dondo	Correo electrónico
Diseño de circuito de carga	Realizada	Semanal	Ing. Mailing	Dr. Dondo	Correo electrónico
Implementación de circuito de carga	Realizada	Semanal	Ing. Mailing	Dr. Dondo	Correo electrónico
Diseño de circuito de regulación	Realizada	Semanal	Ing. Mailing	Dr. Dondo	Correo electrónico
Implementación de circuito de regulación	Realizada	Semanal	Ing. Mailing	Dr. Dondo	Correo electrónico
Diseño del sistema basado en AD5933	Cantidad de horas trabajadas	Semanal	Dr. Dondo	Ing. Dell'Osa	Correo electrónico
Elaboración de la placa del circuito impreso	Realizada	Diario	Dr. Dondo	Ing. Dell'Osa	Correo electrónico

SEGUIMIENTO DE AVANCE					
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.
Ensamble y soldado de la placa del sistema y electrodos aplicables	Realizada	Semanal	Dr. Dondo	Ing. Dell'Osa	Correo electrónico
Diagramación de la arquitectura	Cantidad de horas trabajadas	Diario	Lic. Prisching	Ing. Dell'Osa	Correo electrónico
Desarrollo del firmware de comunicación inalámbrica con dispositivo móvil	Cantidad de horas trabajadas	Diario	Lic. Prisching	Dr. Dondo	Correo electrónico
Desarrollo del firmware de comunicación con sistema AD5933	Cantidad de horas trabajadas	Diario	Lic. Prisching	Dr. Dondo	Correo electrónico
Desarrollo del firmware de control	Cantidad de horas trabajadas	Diario	Dr. Dondo	Dr. Dondo	Correo electrónico
Pruebas de funcionamiento	Realizada	Diario	Dr. Dondo	Ing. Dell'Osa	Videoconferencia
Diagramación de la interfaz (diseño y estructura)	Cantidad de horas trabajadas	Semanal	Lic. Prisching	Dr. Dondo	Videoconferencia
Desarrollo de software	Cantidad de requisitos implementados	Semanal	Lic. Prisching	Dr. Dondo	Videocofe-rencia
Pruebas de funcionamiento	Realizada	Diaria	Lic. Prisching	Ing. Dell'Osa	Correo electrónico
Escritura del Protocolo de Medición	Cantidad de incisos escritos	Semanal	Dr. Masner	Lic. Silva	Videoconfe-rencia
Escritura del CI	Cantidad de incisos escritos	Semanal	Dr. Masner	Lic. Silva	Videoconfe-rencia



SEGUIMIENTO DE AVANCE					
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.
Primer Envío del protocolo y el CI a comité de bioética externos (CBE) para su revisión	Realizada	Semanal	Ing. Dell'Osa	Dr. Masner, Lic. Silva	Correo electrónico
Corrección del protocolo y CI a partir de la devolución del CBE	Devolución del CBE	Semanal	Dr. Masner	Lic. Silva, Ing. Dell'Osa	Correo electrónico
Segundo Envío del protocolo y el CI a CBE para su aprobación definitiva	Realizada	Semanal	Dr. Masner	Lic. Silva, Ing. Dell'Osa	Videoconferencia
Implementación integral del dispositivo	Cantidad de horas trabajadas	Semanal	Dr. Dondo	Ing. Dell'Osa	Videoconferencia
Mediciones sobre circuitos de componentes pasivos R-C	Realizada	Semanal	Ing. Dell'Osa	Dr. Dondo, Dr. Masner	Correo electrónico
Análisis de mediciones en circuito R-C	Realizada	Semanal	Ing. Dell'Osa	Dr. Dondo, Dr. Masner	Correo electrónico
Mediciones sobre sistemas biológicos ex-vivo	Realizada	Semanal	Ing. Dell'Osa	Dr. Dondo, Dr. Masner	Correo electrónico
Análisis de mediciones en sistemas biológicos ex-vivo	Realizada	Semanal	Ing. Dell'Osa	Dr. Dondo, Dr. Masner	Correo electrónico

SEGUIMIENTO DE AVANCE					
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.
Mediciones sobre voluntarios humanos	Cantidad de voluntarios medidos	Semanal	Dr. Masner	Ing. Dell'Osa	Videoconferencia
Análisis de mediciones sobre seres humanos	Cantidad de horas trabajadas	Semanal	Dr. Masner	Ing. Dell'Osa	Videoconferencia

Nota: El indicador de avance **Realizada** es un parámetro binario (SI/NO), el resto son cantidad medibles.

## 17. Procesos de cierre

- Análisis de pautas de trabajo:
  - Responsable: Dr. Diego Dondo
  - Procedimiento: Se realizará un análisis comparativo contemplando el plan de trabajo original y los resultados alcanzados; si hubieran desviaciones en los requerimientos establecidos, en los tiempos de trabajo pautados y las horas trabajadas por cada interesado se comprenderán las razones de tales diferencias y se incluirán en el informe final.
- Análisis de cumplimiento de las versiones originales de supuestos, cronogramas, recursos y riesgos:
  - Responsable: Ing. Dell'Osa
  - Procedimiento: Se establecerá el cumplimiento de cada uno de los items detallados. En caso de incumplimiento se realizará un análisis de las decisiones tomadas para continuar con la tarea relacionada al mismo. En el caso de los items cumplido respecto al plan de trabajo original se analizará si hubo una sobreestimación o sobredimensionado de un recurso al respecto. Este análisis será incluido en el informe final.
- Acto de cierre:
  - Responsable: Ing. Dell'Osa
  - Procedimiento: Se realizará un acto en las instalaciones de la UNTDF en el cual se darán cuentas del proyecto realizado y los objetivos alcanzados. Se contempla que sean invitados a la misma autoridades universitarias, interesados del proyecto, autoridades provinciales y comunidad en general. También será contemplada la participación de los interesados de otras instituciones vía videoconferencia.