



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

# Desarrollo de un sistema embebido para un titulador potenciométrico automático

Autor:

Fernando Ezequiel Daniele

Director:

Javier Andrés Redolfi (UTN FRSFCO)

Jurados:

Nombre y Apellido (1) (pertenencia (1))

Nombre y Apellido (2) (pertenencia (2))

Nombre y Apellido (3) (pertenencia (3))

*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 . . . . .	7
2. Alcance del proyecto . . . . .	7
3. Supuestos del proyecto. . . . .	8
4. Requerimientos . . . . .	8
Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ) . . . . .	9
5. Entregables principales del proyecto . . . . .	10
6. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	10
7. Diagrama de Activity On Node . . . . .	11
8. Diagrama de Gantt. . . . .	11
9. Matriz de uso de recursos de materiales . . . . .	13
10. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	13
11. Matriz de asignación de responsabilidades . . . . .	14
12. Gestión de riesgos . . . . .	15
13. Gestión de la calidad . . . . .	16
14. Comunicación del proyecto . . . . .	16
15. Gestión de Compras . . . . .	16
16. Seguimiento y control. . . . .	16
17. Procesos de cierre . . . . .	17

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	22/06/2020
1.1	Entrega semanas 2 - 3	11/06/2020
1.2	Correcciones entrega semanas 2 - 3	18/06/2020

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 22 de junio de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Fernando Ezequiel Daniele que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Desarrollo de un sistema embebido para un titulador potenciométrico automático”, consistirá esencialmente en el prototipo preliminar de un sistema para el control de un titulador o valorador, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 640 hs de trabajo y \$15.000, con fecha de inicio 22 de junio de 2020 y fecha de presentación pública 31 de junio de 2021.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

María Eugenia Taverna  
GISAI - UTN FRSFCO

Javier Andrés Redolfi  
Director del Trabajo Final

Nombre y Apellido (1)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (2)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (3)  
Jurado del Trabajo Final

## Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El prototipo en particular que se desarrollará forma parte de un proyecto interdisciplinar gestado en el Grupo de Investigación Sobre Aplicaciones Inteligentes (GISAI) de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco (UTN FRSFCO), cuyo objetivo es el desarrollo de un titulador potenciométrico automático para el laboratorio de servicios de la facultad. El proyecto involucra docentes y alumnos de cuatro carreras de ingeniería, cuyas actividades se detallan a continuación:

- Ingeniería química: aporta el conocimiento sobre el proceso de titulación y establece los requerimientos que deberá tener el sistema.
- Ingeniería electromecánica: se encarga de diseñar y construir una bomba peristáltica y las partes mecánicas.
- Ingeniería en sistemas de información: se encarga de desarrollar un software para el procesamiento de los datos del cliente y los datos obtenidos del titulador.
- Ingeniería electrónica: se encarga de diseñar el sistema embebido para el control automático del titulador.

El proyecto surge de la iniciativa del grupo GISAI de encarar un proyecto que involucre las cuatro ingenierías que forman parte de la UTN FRSFCO. Es en esa iniciativa que se propone el desarrollo de un titulador potenciométrico automático.

Las titulaciones, también conocidas como valoraciones, son ampliamente utilizadas en química analítica para determinar la concentración de ácidos, bases, agentes oxidantes, agentes reductores, iones metálicos, proteínas y muchas otras especies químicas. Son métodos poderosos de análisis que se basan en la reacción de estequiometría definida, que se da entre un analito y un reactivo estándar conocido como titulante o valorante.

Las titulaciones pueden ser realizadas en forma manual o automática. Actualmente existen en el mercado tituladores de operación automatizada que determinan la concentración de diferentes analitos, pero estos equipos son económicamente inaccesibles para universidades y laboratorios en los que existe una frecuencia baja de muestras a analizar. Estas dificultades traen aparejada poca celeridad en la obtención de resultados de manera convencional y vuelve a los laboratorios universitarios poco competentes frente a la demanda de análisis.

La UTN FRSFCO no cuenta con equipos automatizados para la realización de distintos ensayos útiles en las áreas de ingeniería química y electromecánica. El por eso que el proyecto general busca desarrollar un prototipo de titulador automático para el empleo en diferentes valoraciones ácido-base.

Este prototipo se destinará a la automatización de los procesos de titulación manuales llevados a cabo en el laboratorio de servicios a terceros que funciona en la universidad, así como también en los grupos de I+D, y cátedras de la carrera de ingeniería química y electromecánica, que utilizan este tipo de técnicas.

El caso de este proyecto en particular se enfoca en el desarrollo del sistema embebido que será el encargado de automatizar el proceso de titulación. Este proceso consiste en inyectar mediante la bomba la solución titulante en la muestra a analizar. Durante todo el proceso se debe realizar la lectura del potencial que entrega un electrodo de pH situado en el recipiente de la muestra, y tabular los datos del potencial y de volumen añadido para poder obtener la curva de titulación. A través de estos datos es posible determinar el volumen (o los volúmenes) de titulante correspondiente al momento en el cual la curva posee un punto de inflexión, es decir, cuando la derivada segunda del potencial respecto al volumen utilizado de titulante se

hace cero. Ese valor es el que utilizará el software y el analista para determinar la sustancia desconocida.

El presente proyecto se destaca especialmente porque sienta las bases de un trabajo interdisciplinar, enfocado en obtener un producto económico, de código y hardware abierto, adecuado a las necesidades de la facultad, y con la posibilidad de realizar modificaciones o mejoras futuras. En la Figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema. A continuación se detallan cada uno de sus componentes:

- Módulo ESP32-DevKitC: incluye un microprocesador dual Core de 32 bits y WiFi integrado, entre otros. El microprocesador es el encargado de controlar el resto de los componentes. En cuanto al WiFi, será el medio de conexión para que un usuario pueda acceder a una página web almacenada en la memoria del módulo, y visualizar los datos obtenidos en el proceso de titulación.
- Interfaz de usuario: compuesta por una pantalla TFT táctil de 2,4 pulgadas. Le permitirá al usuario configurar el dispositivo, realizar la calibración del mismo, dar inicio al proceso de titulación y visualizar datos.
- Lector de tarjetas SD: se encuentra en el mismo módulo de la pantalla, donde se guardarán los datos obtenidos en la titulación.
- Bomba peristáltica: se encarga de dosificar el titulante en el recipiente de la muestra.
- Electrodo: es el encargado de realizar la medición de pH.
- Agitador: compuesto por un motor de CC. Realiza la mezcla el titulante con la muestra.
- Sensor de temperatura: puede o no situarse en el recipiente de la muestra.

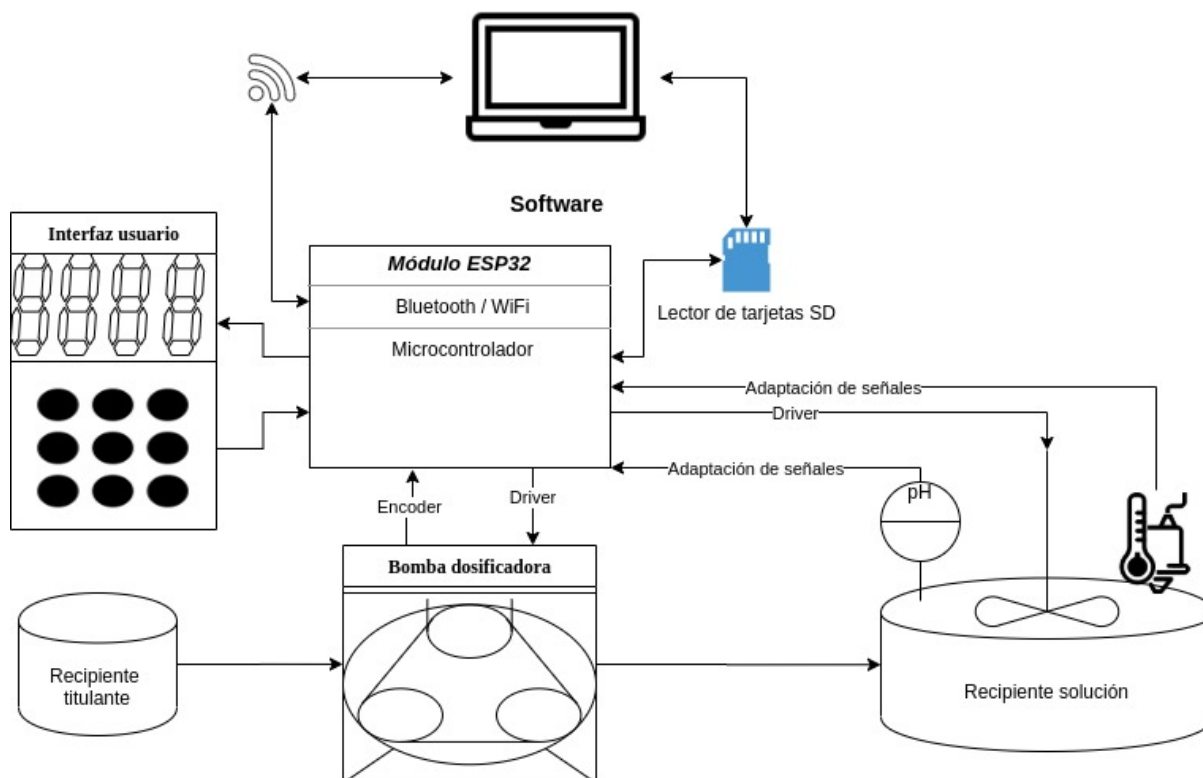


Figura 1: Diagrama en bloques del sistema

## Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	María Eugenia Taverna	GISAI - UTN FRSF-CO	Co-Directora de proyecto
Responsable	Fernando Ezequiel Daniele	FIUBA	Alumno
Colaborador	Leonardo Anchino	GISAI - UTN	Becario
Colaborador	Lorenzo Depetris	GISAI - UTN	Becario
Orientador	Javier Andrés Redolfi	UTN FRSCFO	Director Trabajo final
Usuario final	Laboratorio de Servicios	UTN FRSCFO	-

## 1. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar el prototipo de un sistema embebido que permita automatizar y controlar el ensayo de titulación potenciométrica.

## 2. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Una interfaz de usuario que permite la configuración y calibración del dispositivo, así como también dar inicio al proceso de titulación.
- La visualización de la curva de potencial respecto al volumen de titulante inyectado.
- El control de la bomba que inyecta el titulante en la muestra
- El cálculo y visualización del resultado de la titulación. El resultado es el volumen de titulante utilizado al momento de producirse un punto de inflexión en la curva.
- El almacenamiento de los datos del ensayo en una memoria SD
- La visualización de los datos del ensayo en una página web, a través de una conexión wifi local.

El proyecto no incluye:

- El manejo del dispositivo de manera remota.
- El diseño de gabinetes u otras partes mecánicas.

### 3. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El desarrollo de la bomba peristáltica y demás partes mecánicas estarán desarrolladas en el tiempo previsto.
- El dinero disponible será suficiente para la adquisición de los materiales en el contexto macroeconómico actual
- El aislamiento y/o distanciamiento preventivo social y obligatorio no impedirá la adquisición de materiales ni retrasará las pruebas y verificaciones del dispositivo.

### 4. Requerimientos

#### 1. Grupo de requerimientos asociados con interfaces externas

- 1.1. El dispositivo deberá tener una pantalla táctil a través de la cual el usuario podrá interactuar con un menú de navegación.
- 1.2. El menú deberá incluir una opción de configuración, una de calibración, una de titulación y otra de conexión.
- 1.3. La opción de configuración deberá permitir elegir los valores de tres muestras patrones (*buffers*) que se utilizarán en la calibración.
- 1.4. La opción configuración deberá permitir elegir el volumen de corte de la titulación.
- 1.5. La opción configuración deberá permitir elegir si utilizar o no el agitador.
- 1.6. La opción calibración deberá permitir elegir con cual de los tres *buffers* se calibrará y dar la opción de guardar el valor leído una vez realizada la medición. También debe dar la opción de cancelar sin guardar.



- 1.7. La opción de titulación debe pedir al usuario que acepte el inicio del ensayo o regresar al menú principal. En caso de aceptar, debe mostrar el valor actual leído y una gráfica de pH en el eje de la ordenadas y de volumen de titulante añadido en el eje de las abscisas.
- 1.8. La opción conexión debe mostrar los datos para que un dispositivo pueda conectarse a la red wifi del titulador.
2. Grupo de requerimientos asociados con funciones
  - 2.1. El sistema deberá ser capaz de leer y mostrar el potencial entregado por un electrodo de pH, con una resolución de 1 mV para la lectura del potencial y de 0,01 pH para su conversión a pH.
  - 2.2. El sistema deberá ser capaz de controlar la cantidad de pasos que realiza un motor paso a paso bipolar asociado a la bomba, así como también el tiempo entre cada paso.
  - 2.3. Cada paso debe producir la inyección de titulante en la muestra en una cantidad máxima de 0,1 ml por paso.
  - 2.4. El tiempo mínimo de espera entre cada paso debe ser de 1 segundo luego que la lectura de potencial se haya estabilizado.
  - 2.5. El sistema deberá accionar el motor de la bomba en el momento que el usuario lo solicite y finalizar cuando se haya inyectado la cantidad de volumen indicada por el usuario como volumen de corte.
  - 2.6. Cuando el proceso de titulación comience, el agitador debe activarse si así lo indica el menú de configuración.
  - 2.7. Cada valor de volumen añadido junto al valor de potencial asociado deberá guardarse en una memoria sd y mostrarse en una página web. No es necesario que esto se haga en tiempo real.
  - 2.8. Se deberá medir la temperatura para realizar ajustes en el valor de pH cuando la temperatura ambiente sea menor a 10 grados centígrados o mayor a 40 grados centígrados.
3. Grupo de requerimientos asociados con rendimiento y capacidad:
  - 3.1. El sistema deberá ser capaz de realizar titulaciones que involucren una cantidad mínima de 50 ml de titulante y una cantidad máxima de 100 ml.
  - 3.2. El sistema deberá ser capaz de guardar en la memoria sd todos los datos generados en una titulación. Al iniciar otro proceso de titulación, los datos de la titulación anterior serán eliminados.

## Historias de usuarios (*Product backlog*)

Descripción: En esta sección se deben incluir las historias de usuarios y su ponderación (*history points*). Recordar que las historias de usuarios son descripciones cortas y simples de una característica contada desde la perspectiva de la persona que desea la nueva capacidad, generalmente un usuario o cliente del sistema.

La ponderación es un número entero que representa el tamaño de la historia comparada con otras historias de similar tipo.

## 5. Entregables principales del proyecto

- Prototipo funcional
- Manual de uso
- Diagrama esquemático
- Código fuente
- Memoria técnica

## 6. Desglose del trabajo en tareas

1. Investigación y documentación (60 hs)
  - 1.1. Analizar diferentes procesos de titulación y tituladores del mercado (10 hs)
  - 1.2. Seleccionar los componetes adecuados con sus respectivas hojas de datos(10 hs)
  - 1.3. Analizar el funcionamiento de los componententes (40 hs)
2. Diseño general (50 hs)
  - 2.1. Diseño de diagrama de módulos (10 hs)
  - 2.2. Diseño de diagramas de flujo (10 hs)
  - 2.3. Diseño de diagrama de conexiones (10 hs)
  - 2.4. Diseño de esquemático y pcb (20 hs)
3. Desarrollo del hardware (20 hs)
  - 3.1. Construcción del prototipo del pcb (15 hs)
  - 3.2. Conexión de los diferentes componetes (5 hs)
4. Desarrollo del firmware (280 hs)
  - 4.1. Desarrollo del menú de usuario mediante pantalla táctil (40 hs)
  - 4.2. Desarrollo del módulo de calibración (40 hs)
  - 4.3. Desarrollo del módulo de medición (40 hs)
  - 4.4. Desarrollo del módulo de control de la bomba (40 hs)
  - 4.5. Desarrollo del módulo de guardado de datos en sd (40 hs)
  - 4.6. Desarrollo del módulo de conexión wifi y página web (40 hs)
  - 4.7. Desarrollo del módulo de calculo del volumen en el punto de inflexión (40 hs)
5. Calibración y puesta en funcionamiento (50 hs)
  - 5.1. Calibración del módulo de medición de pH (25 hs)
  - 5.2. Calibración del módulo de control de la bomba (20 hs)
  - 5.3. Puesta en funcionamiento (5 hs)
6. Testing (100hs)
  - 6.1. Test de cada módulo de software (40 hs)

- 6.2. Ensayos del sistema completo con diferentes tipos de titulaciones (40 hs)
- 6.3. Corrección de errores (20 hs)
- 7. Presentación del trabajo (80 hs)
  - 7.1. Redacción de la memoria escrita (60 hs)
  - 7.2. Preparación de la presentación pública del trabajo (20 hs)

Cantidad total de horas: (640 hs)

## 7. Diagrama de Activity On Node

En la Figura 2 se muestra el diagrama de Activity on Node del proyecto. Se observa que la línea remarcada indica el camino crítico del proyecto, con un total de 620 horas.

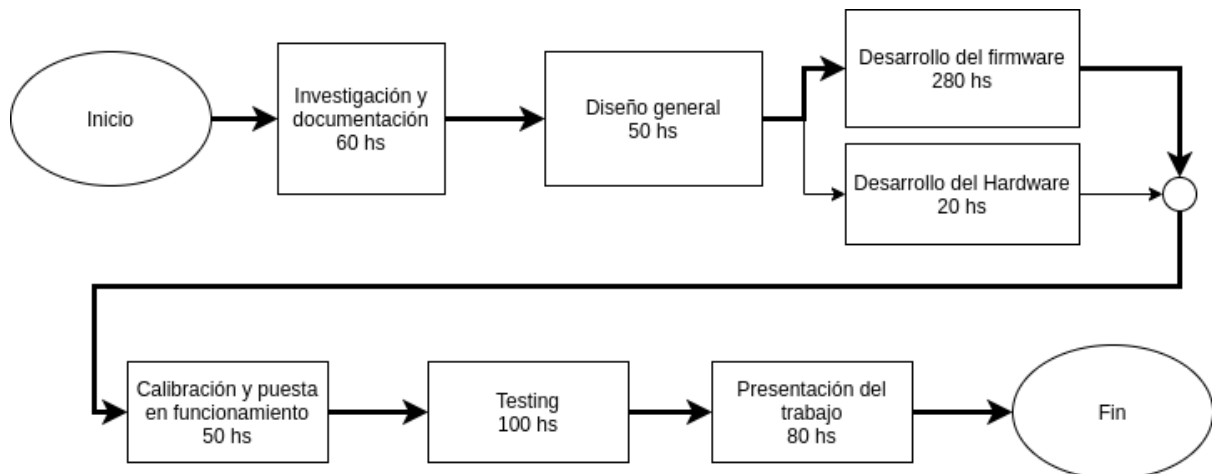


Figura 2: Diagrama en *Activity on Node*

## 8. Diagrama de Gantt

Código actividad	Nombre	Fecha inicio	Duración en días	Fecha fin
1.1	Analizar diferentes procesos de titulación y tituladores del mercado	22/6/2020	7	29/6/2020
1.2	Seleccionar componetes adecuados con sus respectivas hojas de datos	29/6/2020	7	6/7/2020
1.3	Analizar el funcionamiento de los componentes	6/7/2020	28	3/8/2020
2.1	Diseño de diagrama de módulos	3/8/2020	7	10/8/2020
2.2	Diseño de diagramas de flujo	10/8/2020	7	17/8/2020
2.3	Diseño de diagrama de conexiones	17/8/2020	7	24/8/2020
2.4	Diseño de esquemático y pcb	24/8/2020	14	7/9/2020
3.1	Construcción del prototipo del pcb	7/9/2020	12	19/9/2020
3.2	Conexión de los diferentes componetes	19/9/2020	2	21/9/2020
4.1	Desarrollo del menú de usuario mediante pantalla táctil	17/8/2020	24	10/9/2020
4.2	Desarrollo del módulo de calibración	10/9/2020	24	4/10/2020
4.3	Desarrollo del módulo de medición	4/10/2020	24	28/10/2020
4.4	Desarrollo del módulo de control de la bomba	28/10/2020	24	21/11/2020
4.5	Desarrollo del módulo de guardado de datos en sd	21/11/2020	24	15/12/2020
4.6	Desarrollo del módulo de conexión wifi y página web	15/12/2020	24	8/1/2021
4.7	Desarrollo del módulo de cálculo del volumen en el punto de inflexión	8/1/2021	24	1/2/2021
5.1	Calibración del módulo de medición de pH	1/2/2021	19	20/2/2021
5.2	Calibración del módulo de control de la bomba	20/2/2021	14	6/3/2021
5.3	Puesta en funcionamiento	6/3/2021	2	8/3/2021
6.1	Test de cada módulo de software	8/3/2021	28	5/4/2021
6.2	Ensayos del sistema completo con diferentes tipos de titulaciones	5/4/2021	20	25/4/2021
6.3	Corrección de errores	25/4/2021	10	5/5/2021
7.1	Redacción de la memoria escrita	5/5/2021	42	16/6/2021
7.2	Preparación de la presentación pública del trabajo	16/6/2021	14	30/6/2021

Figura 3: Diagrama de Gantt: Tabla

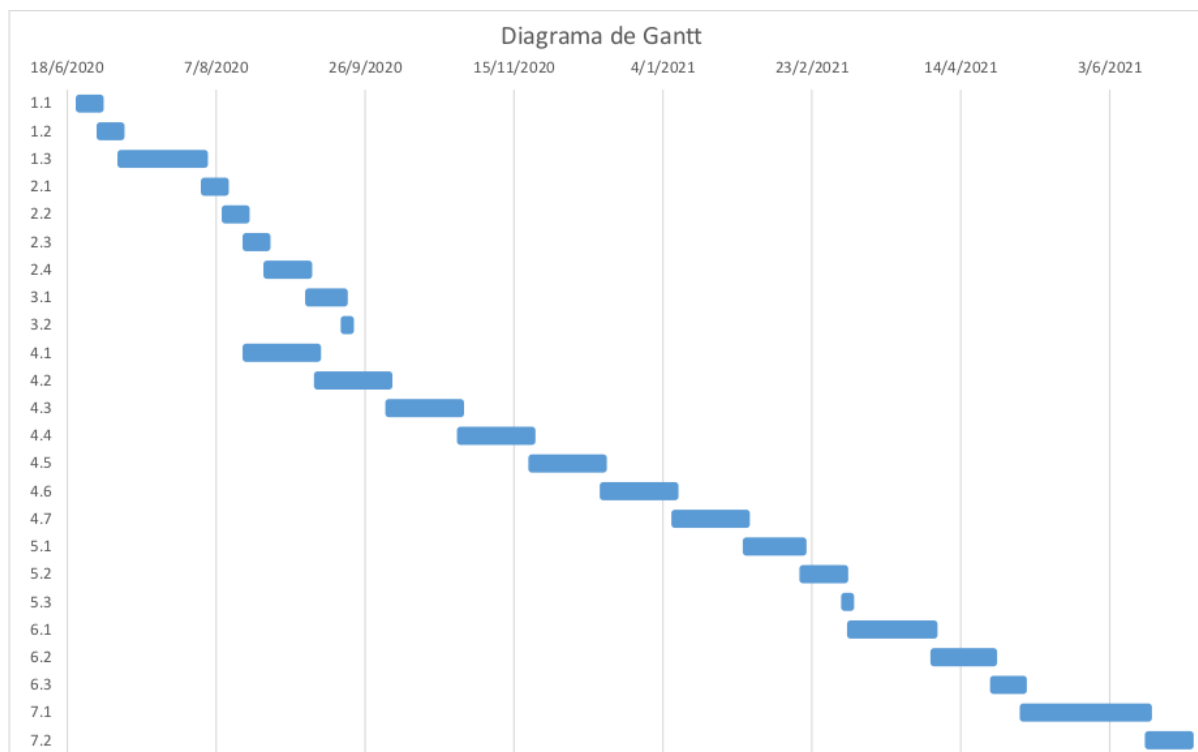


Figura 4: Diagrama de Gantt: Gráfico

## 9. Matriz de uso de recursos de materiales

Código WBS	Nombre tarea	Recursos requeridos (horas)					
		PC	Módulo pantalla	Electrodo	Bomba	SD	Insumos varios
1	Investigación y documentación	60					
2	Diseño general	50					
3	Desarrollo de hardware						20
4	Desarrollo del firmware	280					
5	Calibración y puesta en funcionamiento	5	60	30	25	5	
6	Testing	100	100	100	100	100	
7	Presentación del trabajo	80					

## 10. Presupuesto detallado del proyecto

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
ESP32	1	\$1400	\$1400
Display táctil con lector SD	1	\$1300	\$1300
Driver drv8825	2	\$400	\$800
Modulo Ph-4502c	1	\$4000	\$4000
Modulo Ph-4502c	1	\$4000	\$4000
PCB	1	\$500	\$500
SUBTOTAL			\$12000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Insumos varios	1	\$3000	\$3000
SUBTOTAL			3000
TOTAL			\$15000

## 11. Matriz de asignación de responsabilidades

Código WBS	Nombre de la tarea	Listar todos los nombres y roles del proyecto			
		Responsable	Director	Colaboradores	Cliente
		Fernando Ezequiel Daniele	Javier Andrés Redolfi	Anchino y Depetris	María Eugenia Taverna
1	Investigación y documentación	P	C		C
2	Diseño general	P	I	C	A
3	Desarrollo de hardware	P		C	
4	Desarrollo del firmware	P	I	C	
5	Calibración y puesta en funcionamiento	P	I	S	I
6	Testing	P			I
7	Presentación del trabajo	P	A		

Referencias:

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

## 12. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S):

- Ocurrencia (O):

Riesgo 3:

- Severidad (S):
- Ocurrencia (O):

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como  $RPN=S \times O$ )

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

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

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

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

Riesgo 1: Plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación). Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación: - Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S). - Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: Plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: Plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación)

### 13. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: Copiar acá el requerimiento.

Verificación y validación:

- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Detallar
- Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Detallar

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, etc.

## 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

## 15. Gestión de Compras

En caso de tener que comprar elementos o contratar servicios: a) Explique con qué criterios elegiría a un proveedor. b) Redacte el Statement of Work correspondiente.

## 16. Seguimiento y control

Para cada tarea del proyecto establecer la frecuencia y los indicadores con los se seguirá su avance y quién será el responsable de hacer dicho seguimiento y a quién debe comunicarse la situación (en concordancia con el Plan de Comunicación del proyecto).

El indicador de avance tiene que ser algo medible, mejor incluso si se puede medir en % de avance. Por ejemplo, se pueden indicar en esta columna cosas como “cantidad de conexiones ruteadas” o “cantidad de funciones implementadas”, pero no algo genérico y ambiguo como “%”, porque el lector no sabe porcentaje de qué cosa.

SEGUIMIENTO DE AVANCE						
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.	

## 17. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:



- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:  
- Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se utilizaron, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron: - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores: - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.