



**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.	6
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	13
12. Gestión de riesgos	14
13. Gestión de la calidad	16
14. Comunicación del proyecto	19
15. Gestión de Compras	19
16. Seguimiento y control.	19
17. Procesos de cierre	21

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	22/06/2020
1.1	Entrega semanas 2 - 3	11/07/2020
1.2	Correcciones entrega semanas 2 - 3	18/07/2020
1.3	Entrega semanas 3 - 4	31/07/2020
1.4	Se cambiaron requerimientos	05/08/2020
1.5	Entrega semanas 4 - 5	07/08/2020

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.

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 FRSCO	-

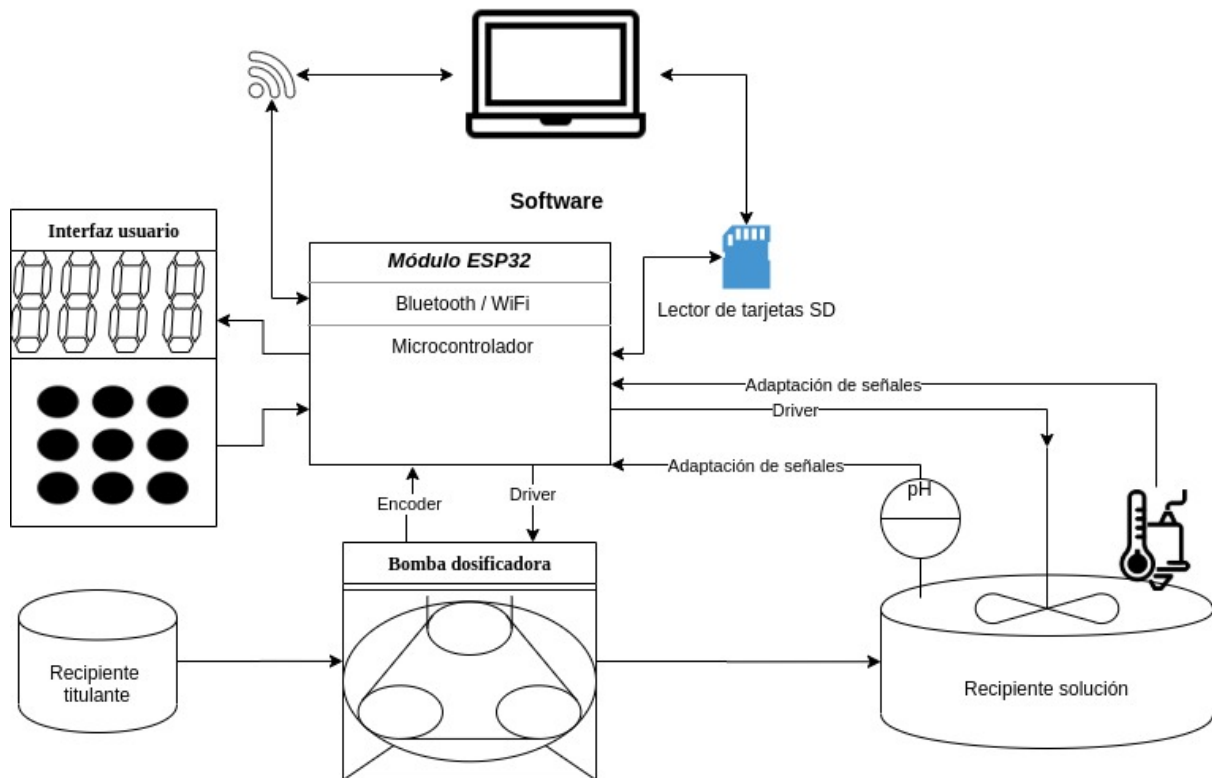


Figura 1: Diagrama en bloques del sistema

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. Interfaces Externas

- 1.1. El hardware deberá contar con una pantalla TFT táctil. [TPA-ERH-01-REQ001]
- 1.2. El hardware deberá contar con un lector de tarjetas SD. [TPA-ERH-01-REQ002]
- 1.3. El hardware deberá contar con un driver para un motor paso a paso Nema 17. [TPA-ERH-01-REQ003]
- 1.4. El hardware deberá contar con una entrada para un electrodo de pH. [TPA-ERH-01-REQ004]

2. Funciones

- 2.1. El usuario podrá elegir mediante la pantalla táctil los valores de tres muestras patronas (buffers) que se utilizarán en la calibración. [TPA-ERS-01-REQ001] El usuario podrá elegir mediante la pantalla táctil el volumen de corte de la titulación. [TPA-ERS-01-REQ002]
- 2.2. El usuario podrá elegir mediante la pantalla táctil si utilizar o no el agitador. Cuando el proceso de titulación comience, el agitador debe activarse si así lo indicó el usuario. [TPA-ERS-01-REQ003]
- 2.3. El usuario podrá realizar mediante la pantalla táctil el proceso de calibración con cada uno de los tres buffers. [TPA-ERS-01-REQ004]
- 2.4. Los valores de potencial obtenidos en el proceso de la calibración se deben guardar en la memoria flash del ESP32. [TPA-ERS-01-REQ005]
- 2.5. El valor de pH se debe calcular de manera proporcional a la recta de ajuste de los valores de potencial obtenidos en la calibración. [TPA-ERS-01-REQ006]
- 2.6. El usuario podrá dar inicio al proceso de titulación mediante la pantalla táctil. [TPA-ERS-01-REQ007]

- 2.7. Durante la titulación, la pantalla debe mostrar el valor actual leído en mV y en pH y una gráfica de pH en el eje de la ordenadas y de volumen de titulante añadido en el eje de las abcisas. [TPA-ERS-01-REQ008]
- 2.8. Cada valor de volumen añadido junto al valor de potencial asociado durante el proceso de titulación deben almacenarse en un archivo de texto en la tarjeta sd. No es necesario que esto se haga en tiempo real. Al iniciar otro proceso de titulación, los datos de la titulación anterior serán eliminados. [TPA-ERS-01-REQ009]
- 2.9. Cada valor de volumen añadido junto al valor de potencial asociado durante el proceso de titulación deben mostrarse en una página web almacenada en la memoria flash. [TPA-ERS-01-REQ010]
- 2.10. El usuario podrá acceder a la página web mediante una conexión wifi. No es necesario que esto se haga en tiempo real. [TPA-ERS-01-REQ011]
- 2.11. 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. Para ello se utilizará el conversor analógico de 12 bits incorporado en el ESP32. [TPA-ERS-01-REQ012]
- 2.12. El sistema deberá enviar pulsos de 10 ms de ciclo útil al pin step del módulo dvr8825. El tiempo mínimo de espera entre cada pulso debe ser de 1 segundo luego que la lectura de potencial se haya estabilizado. El sistema dejará de enviar los pulsos cuando se haya inyectado la cantidad de volumen indicada por el usuario como volumen de corte. [TPA-ERS-01-REQ013]
- 2.13. Cada pulso se corresponde con el incremento de TBD mL en la cantidad de volumen inyectado, comenzando por un nivel de 0 mL. [TPA-ERS-01-REQ014]
3. Requisitos de Rendimiento
 - 3.1. El sistema deberá ser capaz de realizar titulaciones que involucren una cantidad mínima de 50 ml
 - 3.2. de titulante y una cantidad máxima de 100 ml. [TPA-ERS-01-REQ015]
4. Restricciones de Diseño
 - 4.1. Se utilizará el módulo ESP32 como computadora principal. [TPA-ERS-01-REQ016]
5. Requisitos Futuros
 - 5.1. El dispositivo contará con un control de lazo cerrado para la medición de volumen y el control de la bomba.
 - 5.2. El usuario podrá acceder a todas la funcionalidades de manera remota mediante conexión WiFi o Bluetooth.

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 compontentes (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.

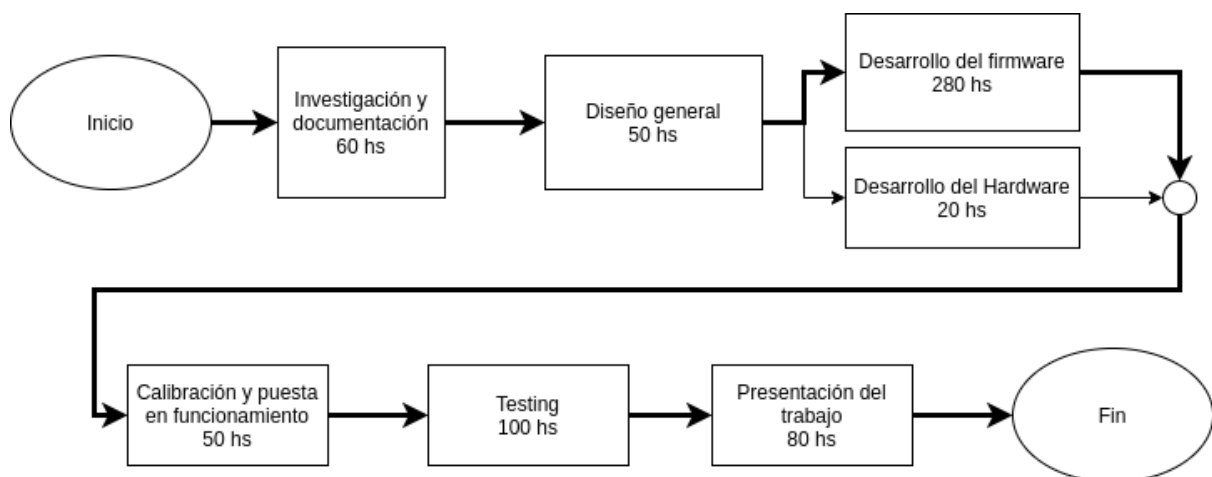


Figura 2: Diagrama en *Activity on Node*

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

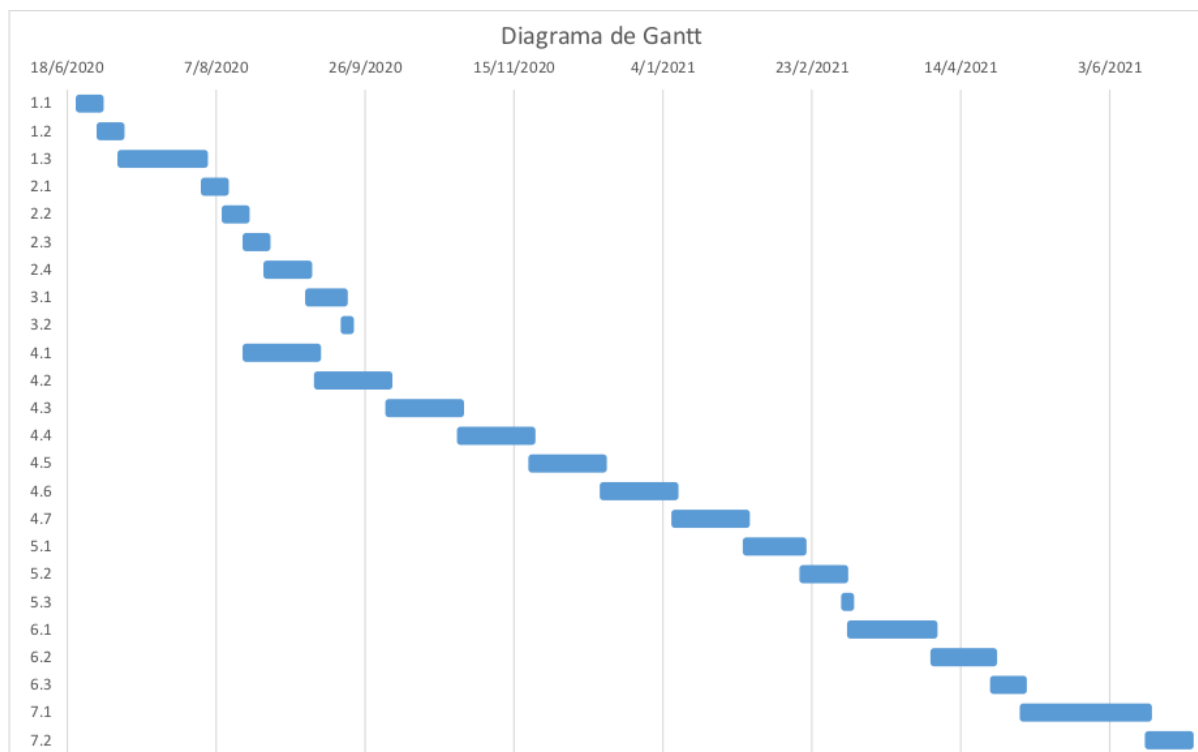


Figura 4: Diagrama de Gantt: Gráfico

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 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	
5		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

Referencias:

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

Código WBS	Nombre de la tarea	Listar todos los nombres y roles del proyecto			
		Responsable Fernando Ezequiel Daniele	Director Javier Andrés Redolfi	Colaboradores Anchino y Depetris	Cliente María Eugenia Taverna
1	Investigación 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	P	I	S	I
6	Testing	P			I
7	Presentación del trabajo	P	A		

12. Gestión de riesgos

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

Riesgo 1 La presición y resolución de las mediciones no cumplen con los requerimientos

- Severidad (S): 9 (nueve) porque la medición de volumen y de potencial son críticas para el resultado final.
- Ocurrencia (O): 6 (seis) porque la medición del potencial puede verse afectada por el ruido, lo cual es bajo. La medición de volumen, en cambio, no se hace de manera directa ya que el prototipo inicial es un lazo abierto y depende exclusivamente de la presión de la bomba. (ver que lo de lazo abierto este explicado antes y que este como requisito futuro un lazo cerrado)

Riesgo 2 Características del hardware seleccionado insuficientes para satisfacer las necesidades del sistema.

- Severidad (S): 8 (ocho) porque puede ocasionar funcionamiento defectuoso.
- Ocurrencia (O): 2 (dos) porque se seleccionó un procesador que puede hacer frente a los requerimientos establecidos, tanto presentes como futuros.

Riesgo 3 Errores de diseño o fabricación en el prototipo del PCB

- Severidad (S): 7 (siete) porque puede ocasionar retrasos o daños en otros componentes.
- Ocurrencia (O): 2 (dos) porque su diseño y fabricación serán verificados y validados por los colaboradores.

Riesgo 4 Imposibilidad de cumplir los plazos planteados

- Severidad (S): 3 (tres) porque el cierre del proyecto del cual forma parte el SETPA es seis meses luego del plazo planteado como entrega del prototipo.
- Ocurrencia (O): 5 (cinco) porque el contexto actual de aislamiento puede ocasionar demoras no previstas en la planificación.

Riesgo 5: Imposibilidad de disponer del electrodo de pH

- Severidad (S): 10 (diez) porque es uno de los componentes fundamentales para el funcionamiento del sistema.
- Ocurrencia (O): 6 (seis) porque es un elemento que será suministrado por el grupo GISAI, en la medida que el financiamiento lo permita.

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1	9	6	54	6	3	18
2	8	2	16			
3	7	2	14			
4	3	5	15			
5	10	6	60	4	1	4

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 20

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 Se realizarán pruebas en la precisión y resolución de la bomba para evaluar si es necesario un lazo cerrado.

- Severidad (S): 6 (nueve) mediante la técnica de microstepping se puede ajustar la resolución de la bomba. La incorporación de un control de lazo cerrado se dejan tanto como requisito futuro de hardware y de software.
- Ocurrencia (O): 3 (cuatro) porque se podrán realizar modificaciones a pedido en la bomba en caso de no cumplir con los requisitos de precisión.

Riesgo 5: Se utilizará un electrodo que dispone el laboratorio de química.

- Severidad (S): 4 (cuatro) porque permitirá realizar todas las pruebas y validaciones necesarias.
- Ocurrencia (O): 1 (uno) porque se estableció como posibilidad en caso de no contar con el electrodo solicitado en tiempo y forma.

13. Gestión de la calidad

1. Interfaces Externas

- 1.1. El hardware deberá contar con una pantalla TFT táctil. [TPA-ERH-01-REQ001]
 - Verificación: Se analizarán distintos módulos con sus respectivas hojas de datos.
 - Validación: El prototipo final debe funcionar con la pantalla TFT táctil seleccionada.
- 1.2. El hardware deberá contar con un lector de tarjetas SD. [TPA-ERH-01-REQ002]
 - Verificación: Se analizarán distintos módulos con sus respectivas hojas de datos.
 - Validación: El prototipo final deberá guardar los datos de una titulación en una memoria SD
- 1.3. El hardware deberá contar con un driver para un motor paso a paso Nema 17. [TPA-ERH-01-REQ003]
 - Verificación: Se analizarán distintos módulos con sus respectivas hojas de datos.
 - Validación: El motor de la bomba deberá girar la cantidad de pasos que el software envía.
- 1.4. El hardware deberá contar con una entrada para un electrodo de pH. [TPA-ERH-01-REQ004]
 - Verificación: Se analizarán distintos módulos con sus respectivas hojas de datos.
 - Validación: El prototipo deberá funcionar con un electrodo conectado.

2. Funciones

- 2.1. El usuario podrá elegir mediante la pantalla táctil los valores de tres muestras patrones (buffers) que se utilizarán en la calibración. [TPA-ERS-01-REQ001]
 - Verificación: Se implementará un menu de navegación que permita esta configuración.
 - Validación: Se realizará un prueba de calibración.

El usuario podrá elegir mediante la pantalla táctil el volumen de corte de la titulación. [TPA-ERS-01-REQ002]

- Verificación: Se implementará un menu de navegación que permita esta configuración.
- Validación: Se realizará una titulación y se verificará si la cantidad de volumen inyectado se corresponde con el volumen de corte.

- 2.2. El usuario podrá elegir mediante la pantalla táctil si utilizar o no el agitador. Cuando el proceso de titulación comience, el agitador debe activarse si así lo indicó el usuario. [TPA-ERS-01-REQ003]
- Verificación: Se implementará un menu de navegación que permita esta configuración.
 - Validación: El motor del agitador encenderá si la opción esta activada
- 2.3. El usuario podrá realizar mediante la pantalla táctil el proceso de calibración con cada uno de los tres buffers. [TPA-ERS-01-REQ004]
- Verificación: Se implementará un menu de navegación que permita la calibración.
 - Validación: Se realizará una medición y se constatará con un instrumento patrón.
- 2.4. Los valores de potencial obtenidos en el proceso de la calibración se deben guardar en la memoria flash del ESP32. [TPA-ERS-01-REQ005]
- Verificación: Se implementará una función que realice el guardado en memoria.
 - Validación: Se leerá los datos guardados luego de realizar un corte de energía al sistema.
- 2.5. El valor de pH se debe calcular de manera proporcional a la recta de ajuste de los valores de potencial obtenidos en la calibración. [TPA-ERS-01-REQ006]
- Verificación: Se implementará una función que calcule la recta de ajuste.
 - Validación: Se realizará una medición y se constatará con un instrumento patrón.
- 2.6. El usuario podrá dar inicio al proceso de titulación mediante la pantalla táctil. [TPA-ERS-01-REQ007]
- Verificación: Se implementará una opción que permita dar inicio al proceso.
 - Validación: Se hará una prueba de titulación.
- 2.7. Durante la titulación, la pantalla debe mostrar el valor actual leído en mV y en pH y una gráfica de pH en el eje de la ordenadas y de volumen de titulante añadido en el eje de las abscisas. [TPA-ERS-01-REQ008]
- Verificación: Se implementará una función que calcule y muestre los valores solicitados.
 - Validación: Se hará una prueba de titulación.
- 2.8. Cada valor de volumen añadido junto al valor de potencial asociado durante el proceso de titulación deben almacenarse en un archivo de texto en la tarjeta sd. No es necesario que esto se haga en tiempo real. Al iniciar otro proceso de titulación, los datos de la titulación anterior serán eliminados. [TPA-ERS-01-REQ009]
- Verificación: Se implementará una función que realice el guardado en memoria.

- Validación: Se leerán los datos guardados de una titulación a través de una computadora.
- 2.9. Cada valor de volumen añadido junto al valor de potencial asociado durante el proceso de titulación deben mostrarse en una página web almacenada en la memoria flash. [TPA-ERS-01-REQ010]
- Verificación: Se implementará una función que escriba los datos en una página web almacenada en memoria.
 - Validación: Se leerá la página web luego de realizar una titulación.
- 2.10. El usuario podrá acceder a la página web mediante una conexión wifi. No es necesario que esto se haga en tiempo real. [TPA-ERS-01-REQ011]
- Verificación: Se mostrarán en pantalla los datos de conexión para que un usuario pueda acceder a la red mediante un dispositivo externo.
 - Validación: Se conectará un dispositivo a la red generada por el módulo wifi para acceder a la página web.
- 2.11. 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. Para ello se utilizará el conversor analógico de 12 bits incorporado en el ESP32. [TPA-ERS-01-REQ012]
- Verificación: Se implementará una función que calcule el valor de pH y de potencial a través de la medición del ADC.
 - Validación: Se alimentará la entrada del ADC con una fuente de tensión regulable con una resolución mínima de 1 mV. Se variará la tensión de la fuente para abarcar el rango de 0 a 5 V.
- 2.12. El sistema deberá enviar pulsos de 10 ms de ciclo útil al pin step del módulo dvr8825. El tiempo mínimo de espera entre cada pulso debe ser de 1 segundo luego que la lectura de potencial se haya estabilizado. El sistema dejará de enviar los pulsos cuando se haya inyectado la cantidad de volumen indicada por el usuario como volumen de corte. [TPA-ERS-01-REQ013]
- Verificación: Se implementará una función que envíe por un puerto digital la salida especificada.
 - Validación: Se conectará un osciloscopio al pin digital para medir la salida.
- 2.13. Cada pulso se corresponde con el incremento de TBD mL en la cantidad de volumen inyectado, comenzando por un nivel de 0 mL. [TPA-ERS-01-REQ014]
- Verificación: Se implementará una función que realice el cálculo del volumen.
 - Validación: Se realizará la medición en comparación con un instrumento patrón.

3. Requisitos de Rendimiento

3.1. El sistema deberá ser capaz de realizar titulaciones que involucren una cantidad mínima de 50 ml

3.2. de titulante y una cantidad máxima de 100 ml. [TPA-ERS-01-REQ016]

- Verificación: Se establecerán los límites en las funciones correspondientes.
- Validación: Se realizará una titulación de 50 ml y otra de 100 ml.

4. Restricciones de Diseño

4.1. Se utilizará el módulo ESP32 como computadora principal. [TPA-ERS-01-REQ017]

- Verificación: Se analizarán las hojas de datos del módulo.
- Validación: El prototipo deberá funcionar con el módulo ESP32.

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
Plan del proyecto	Director, cliente y colaboradores	Informar sobre inicio del proyecto	Una vez	Reunión virtual	Fernando Daniele
Grado de avance	Director	Informar y validar	Mensual	Correo electrónico	Fernando Daniele
Consultas	Colaboradores	Informar, buscar soluciones	Cuando sea necesario	Correo electrónico	Fernando Daniele
Problemas que pongan en peligro la ejecución del proyecto	Director	Brindar soporte y sugerencias	Cuando sea necesario	Reunión virtual o correo electrónico	Fernando Daniele
Finalización y cierre	Director y jurados	Informar, evaluar	Una vez	Correo electrónico	Fernando Daniele

15. Gestión de Compras

Las compras necesarias para la fabricación del prototipo serán ejecutadas por el grupo GISAI bajo los proveedores y protocolos sugeridos por la UTN FRSFCO.

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.	
1	Cantidad de componentes investigados y documentados	Mensual	Fernando Daniele	Director	Correo electrónico	
2	Cantidad de diagramas diseñados	Mensual	Fernando Daniele	Director	Correo electrónico	
3	Cantidad de componentes soldados / conectados	Mensual	Fernando Daniele	Director	Correo electrónico	
4	Cantidad de funciones implementadas	Mensual	Fernando Daniele	Director	Correo electrónico	
5	Cantidad de módulos calibrados	Mensual	Fernando Daniele	Director	Correo electrónico	
6	Cantidad de ensayos y correcciones realizadas	Mensual	Fernando Daniele	Director	Correo electrónico	
7	Cantidad de secciones escritas	Mensual	Fernando Daniele	Director	Correo electrónico	

17. Procesos de cierre

Al finalizar el proyecto, el responsable realizará una reunión final de evaluación que contemplará las siguientes actividades:

- Se compararán los tiempos reales de ejecución con los planificados.
- Se verificará si los requisitos solicitados por el cliente fueron totalmente cumplidos.
- Se identificará las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se utilizaron para cumplir cada una de las actividades propuestas.
- Se identificará cada problema o inconveniente que haya ocasionado un desvío en la ejecución normal del proyecto con sus respectivas soluciones.
- Se dará agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores.