



Titulador

Combina, Ezequiel

Departamento de Ingeniería Electrónica,
Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina.
ezequielcombina1@gmail.com

Giogis, Guillermo

Departamento de Ingeniería Electrónica,
Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina.
guillegiorgis7@gmail.com

Chiavassa, Rodrigo Ezequiel

Departamento de Ingeniería Electrónica,
Facultad Regional San Francisco, Córdoba, Argentina.
rodrigo-chiavassa@hotmail.com.ar

RESUMEN

El presente proyecto se basa en la actualización del sistema embebido del prototipo de un **Titulador Potenciométrico Automático**, el cual fue realizado en el marco del proyecto PID “Abordaje multidisciplinar en la obtención de un titulador automático para el laboratorio de servicios de la Facultad Regional San Francisco”, código AMUTNSF0007673.

Se agregarán mejoras tanto en el apartado del Hardware como también en el Software, además, se adaptará el funcionamiento del equipo para obtener el mejor resultado posible.

Palabras claves: Titulador; Hardware; Software; Adaptación

Abstract

This project is based on the update of the embedded system of the prototype of an **Automatic Potentiometric Titrator**, which was carried out within the framework of the PID project “Multidisciplinary approach in obtaining an automatic titrator for the health services laboratory. the San Francisco Regional Faculty”, code AMUTNSF0007673.

Improvements will be added both in the Hardware section and in the Software, in addition, the operation of the equipment will be adapted to obtain the best possible result.

Key Words: Titrator; Hardware; Software; Adaptation



INTRODUCCIÓN

Proceso de Titulación

La **Titulación** es una técnica analítica que permite realizar la determinación cuantitativa de la concentración de una sustancia o grupo de sustancias químicas (analitos) en una muestra problema. Este método de análisis químico se basa en medir la cantidad de un reactivo de concentración conocida, denominado **Titulante**, que es consumida por un **Analito** durante una reacción química o electroquímica. En una titulación se determina el volumen o la masa de titulante necesario para reaccionar completamente con el analito, y este dato permite calcular la cantidad del analito presente en una muestra. El **Punto Final** de una reacción se puede determinar por el cambio de color en un indicador o por el cambio en una respuesta instrumental como, por ejemplo, el **pH**.

Pasos para titular un ácido con una base¹

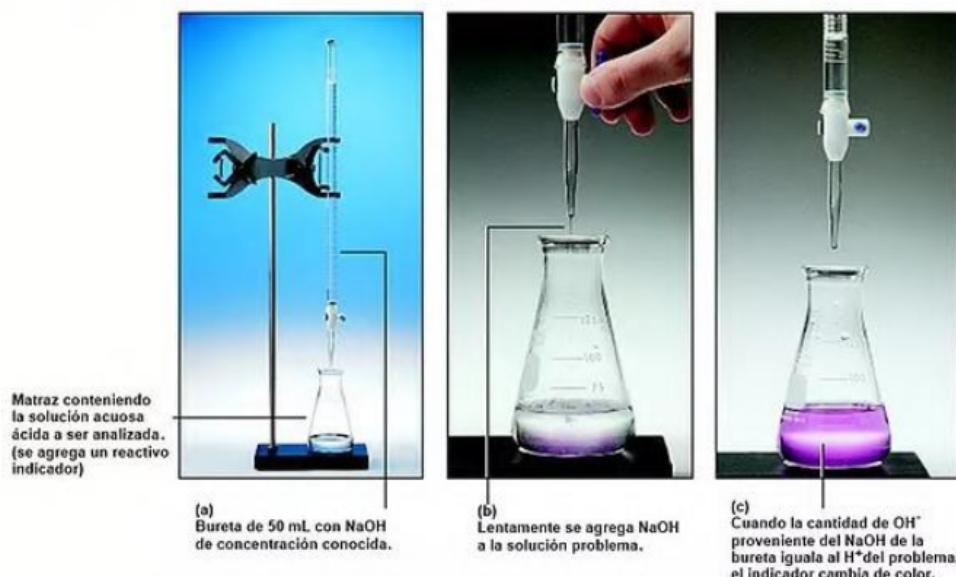


Figura 1: Titulación Acido - Base

El punto de equivalencia es el punto teórico que se alcanza cuando la cantidad de titulante añadido es químicamente equivalente a la cantidad de analito en la muestra. Este punto puede determinarse de manera experimental, se puede estimar cuando se observa una variación física asociada con la condición de equivalencia. Existen diferentes tipos de titulaciones que impli-



can diferentes métodos de análisis. En el caso de este dispositivo, se utilizarán las titulaciones del tipo ácido-base, para las cuales se utiliza el método del cambio de color de un indicador y el del cambio de potencial de un electrodo.

El cambio de color es la técnica que se utiliza actualmente de manera manual en el laboratorio de la UTN FRSFco, y se ilustra en la Fig. 1. Por un lado, se tiene una bureta con el titulante de concentración conocida, y por el otro, un recipiente con la solución acuosa a ser analizada, a la cual se le agrega un reactivo indicador. De manera lenta, se agrega el titulante a la solución problema hasta detectar el cambio de color producido por el indicador. Esto es lo que se conoce como punto final y el resultado es el volumen de titulante gastado, que le permite al analista químico calcular la concentración del analito en la solución problema.

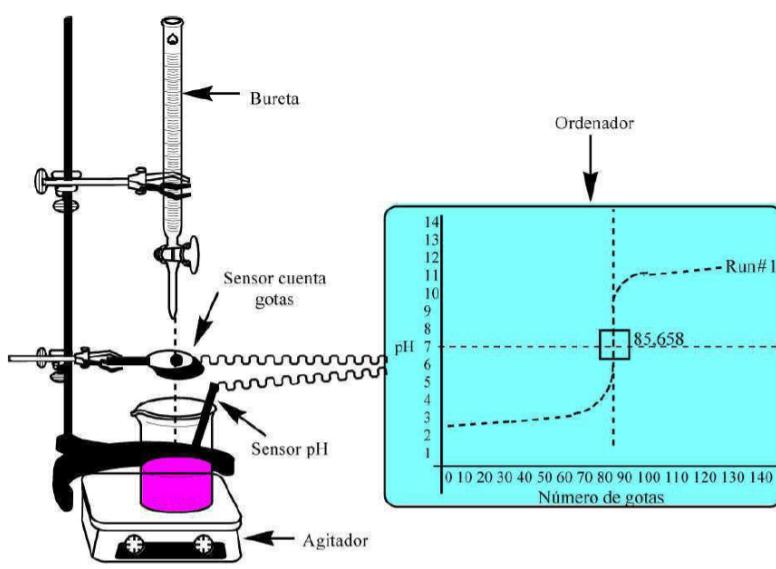


Figura 2: Método de Cambio de Potencial

El cambio en el potencial de un electrodo de pH es la técnica que utilizan los tituladores potenciométricos automáticos. En la Fig. 2 se observa un proceso manual que utiliza el método de cambio de potencial. En este caso, el usuario utiliza una computadora que registra los datos de la cantidad de gotas que añade y el valor de pH leído por el electrodo, para cada cantidad añadida de titulante. De esta forma, se gráfica una curva de titulación que permite encontrar el valor del volumen gastado en el punto final.

Una **Curva de titulación** es una gráfica de alguna variable asociada a la concentración en función del volumen de titulante agregado. Generalmente, se dan dos tipos de curvas: la sigmoidea y la de segmento lineal. Para el



trabajo utilizaremos la curva del tipo sigmoidea, como se muestra en la Fig. 3. La misma corresponde a una titulación de 50 mL de HCl $0,0500\text{ M}$ con NaOH $0,100\text{ M}$, y el punto final coincide con el punto de inflexión de la curva, característica que permite determinar de manera exacta el punto de equivalencia.

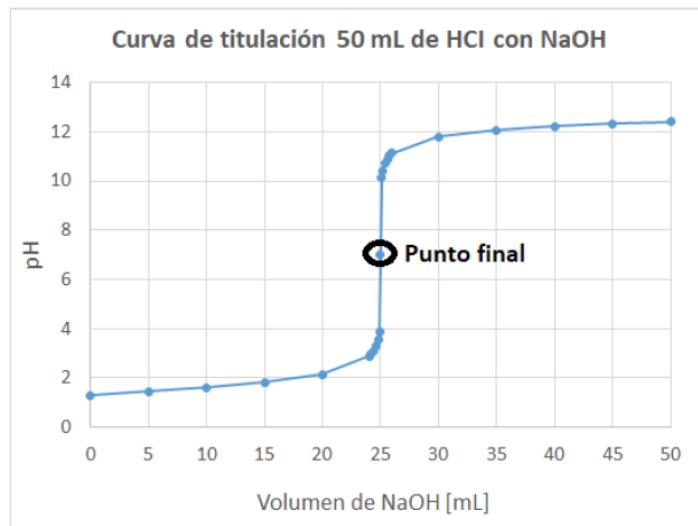


Figura 3: Curva de Titulación

Generalmente, el analista químico recurre a las curvas de la primera y segunda derivada del pH respecto al volumen añadido para poder calcular de manera efectiva el punto final. En la Fig. 4 se muestran las curvas de las derivadas correspondientes a la titulación de HCl con NaOH. Se puede observar que el punto final coincide con un máximo en la curva de la primera derivada y con un cruce por 0 en la curva de la segunda derivada.

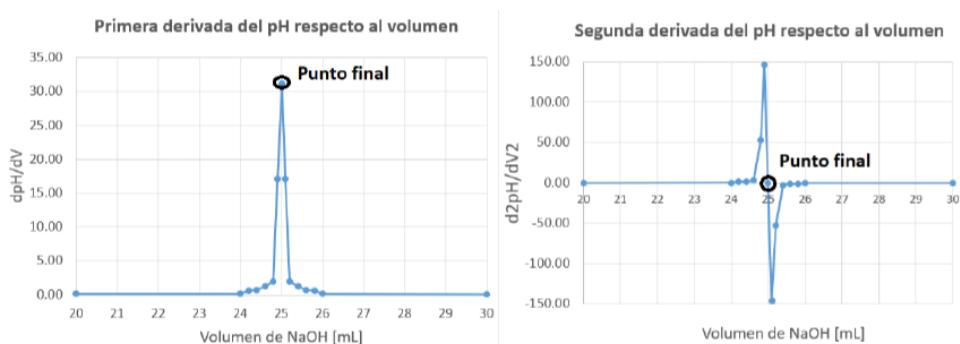


Figura 4: Primera y segunda derivada del pH respecto al volumen



Proceso Automático de Titulación

Un **Titulador automático** agrega titulante en la solución a analizar y registra alguna variable física por cada unidad de volumen o masa de titulante agregada. En base a esos datos, se puede elaborar la curva de titulación y calcular el volumen o masa en el punto final.

Un titulador potenciométrico automático hace uso de un electrodo para medir el potencial de la celda a la vez que inyecta el titulante mediante el uso de algún sistema de dosificación, y registra cada valor potencial en mV o en pH en función de la cantidad de volumen añadido. Estos valores son visualizados en una pantalla y, generalmente, son almacenados en una memoria para poder transferir los datos a una computadora.

Este tipo de dispositivos suele incluir otros accesorios, como un agitador o un sensor de temperatura. El agitador puede estar formado por un motor con una hélice que permite acelerar el proceso de mezcla entre el titulante añadido y la solución, para que el cambio en el potencial se visualice de manera más rápida, mientras que el sensor de temperatura permite corregir el valor de pH cuando no se trabaja con muestras a temperatura ambiente.

Electrodo

Un electrodo de pH, también llamado sensor o sonda, es una herramienta que permite al usuario determinar la alcalinidad o acidez de una solución determinada.

Su funcionamiento se basa en medir la diferencia de potencial eléctrico en mV entre una membrana de vidrio o X-Chip y el electrodo de referencia en una solución.

La sección sensible al pH del electrodo detecta la actividad de los iones de hidrógeno en su punta. La referencia de plata/cloruro de plata entra en contacto con la solución a través de un diafragma o de una unión abierta y proporciona un potencial de referencia constante. La diferencia de potencial se utiliza entonces para calcular el valor del pH utilizando los parámetros de calibración del sensor de pH, bien guardados en el propio sensor en el caso de los sensores ISM digitales, bien en el transmisor para los sensores de pH analógicos.

El electrodo seleccionado para la realización del trabajo es el **Hanna HI1230B** [3]. El mismo se ve en la Fig. 5 y cuenta con las siguientes características:

- Cuerpo del Electrodo: PEI (termoplástico).
- Rango de Temperatura: $-5^{\circ}C$ a $70^{\circ}C$.



- Rango de pH: 0,00 - 12,00 pH.
- Punta del Electrodo: Esférica.
- Conector del Electrodo: BNC.
- Unión de Preferencia: Cerámica, única / $15 - 20 \mu\text{l}/\text{h}$
- Resolución: -.
- Exactitud: -.
- PRECIO: \$115.276,23 pesos argentinos $\rightarrow 118,10 \text{ €}$.



Figura 5: Electrodo Hanna HI1230B

Motor Paso a Paso

El motor será usado para generar una **Bomba Peristáltica**, la cual será la encargada de transportar el titulante hacia la solución.

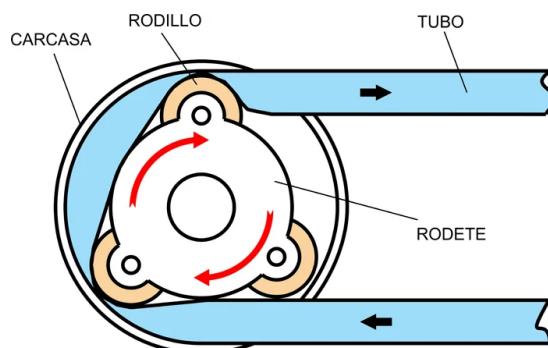


Figura 6: Bomba Peristáltica



Dentro de las diferentes marcas y modelos existentes en el mercado de motores paso a paso se destaca **Nema**. Luego de realizar la investigación correspondiente se pudo observar como estos motores eran relativamente sencillos de conseguir en el mercado y su funcionamiento era bastante intuitivo acompañado del driver específico.

Dentro de los diferentes modelos de motores Nema se decidió por el **Nema 17** [1] junto con el driver **DRV8825** [4], el cual era el mas recomendado para el tipo de motor con el que decidió trabajar.



Figura 7: Motor Paso a Paso Nema 17

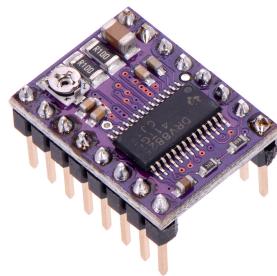


Figura 8: Driver DRV8825

Algunas de la principales características del motor seleccionado son:

- Número de fases: 2.
- Ángulo de paso: $1,8^\circ$.
- Tensión de fase: $12 V_{cc}$.
- Corriente de fase: $1,5 A$.
- Resistencia: $2,40 \Omega \pm 10\%$.



- Inductancia: $3,7\text{ mH} \pm 20\%$ (1 KHz).
- Torque: $4,2\text{ kg/cm}$ (42 N.cm).

Pantalla Táctil

Para el agregado de la pantalla táctil se necesita una cantidad de entradas y salidas con la que no se cuenta, a partir de esto se decidió agregar otro microcontrolador, en este caso, un Arduino Uno, con el cual se realizará el manejo de la pantalla. El modelo seleccionado es la **TFT LCD Touch 2.4"** de MCUFRIEND [2]. La misma se ve en la Fig. 9.

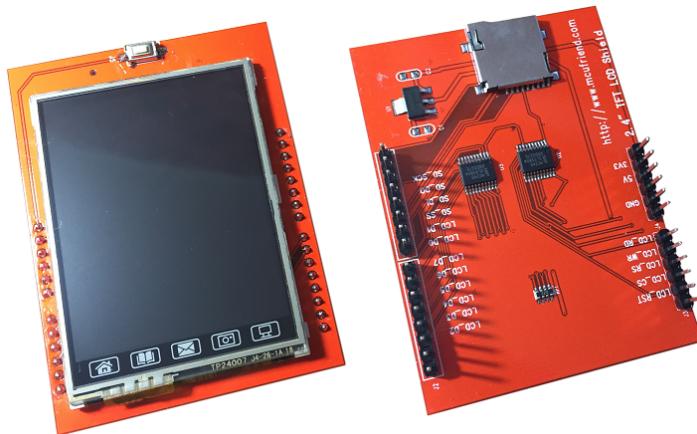


Figura 9: TFT LCD Touch 2.4"

Dentro de sus principales características se puede encontrar:

- 320×240 pixeles de resolución y 262.000 colores.
- Panel táctil resistivo de 4 hilos.
- Compatible con tensión de 5V ya que dispone de regulador de tensión en placa.
- Conexión Shield para Arduino UNO.
- Tamaño: $71\text{ mm} \times 52\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ (L x A x H).
- Lector de tarjetas MicroSD para datalogging o almacenamiento de imágenes.
- Formato Shield para Arduino UNO.

Al contar con un formato Shield para el Arduino Uno su montaje y utilización es muy sencilla y práctica para el uso que se le va a dar en el proyecto.



Microcontrolador ESP32

El microcontrolador usado para digitalizar la señal, aplicar el control PID y generar la señal PWM correspondiente es el ESP32 [5]. Es un microcontrolador muy versátil y popular en aplicaciones de IoT y sistemas embebidos, el mismo se ve en la Fig. 10.



Figura 10: Microcontrolador ESP32

Cuenta con las siguientes características:

- **Doble núcleo:** La mayoría de los modelos tienen un procesador dual-core Tensilica Xtensa LX6 con frecuencias de hasta 240 MHz.
- **Capacidad de procesamiento:** Puede ejecutar múltiples tareas en paralelo, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren multitarea.
- **Wi-Fi:** Soporte para 802.11 b/g/n, permitiendo conexión tanto en modo estación como punto de acceso, o en modo dual.
- **Bluetooth:** Integración de Bluetooth 4.2 y BLE (Bluetooth Low Energy), lo que facilita la conexión con otros dispositivos móviles y periféricos.
- **RAM:** Generalmente entre 320 KB y 520 KB de SRAM.
- **Flash:** Varía según el modelo, pero comúnmente incluye entre 4 MB y 16 MB de memoria flash externa.
- **GPIO:** Hasta 34 pines de E/S programables.
- **Periféricos:** Incluye interfaces como SPI, I2C, I2S, UART, PWM, ADC de 12 bits (hasta 18 canales), y DAC de 8 bits.
- **Sensores integrados:** Incluye sensores táctiles capacitivos, sensores de temperatura y un sensor Hall.



DESARROLLO

Software

El **Software** fue desarrollado a través del lenguaje de programación “C”, además, la principal característica buscada en el dispositivo es el poder realizar tareas en forma “**Paralela**”, para esto se utiliza **FreeRTOS**.

FreeRTOS es un sistema operativo de tiempo real (RTOS) diseñado para Sistemas Embebidos. Permite la ejecución de múltiples tareas en un microcontrolador, proporcionando mecanismos para la gestión del tiempo y la sincronización de tareas. Es ligero y altamente configurable, siendo una opción popular en aplicaciones de Sistemas Embebidos, además, es de código abierto y está diseñado para ejecutarse en microcontroladores, proporcionando una gestión eficiente de recursos y tareas.

FreeRTOS es compatible con una amplia gama de tarjetas de desarrollo y microcontroladores, desde varias familias de las tarjetas STM32, algunas referencias de Microchip, NXP semiconductors, Nordic Semiconductor, entre muchas otras. Una de las más populares actualmente es la ESP32 de Espressif Systems. De hecho el fabricante de la ESP32 confirma que esta tarjeta tiene integrado en su núcleo el FreeRTOS, lo cual quiere decir que este sistema operativo viene preinstalado y configurado para trabajar con el hardware del ESP32 de manera predeterminada. La integración de FreeRTOS en el núcleo del ESP32 ofrece varias ventajas para el desarrollo de aplicaciones, incluyendo:

- **Multitarea:** Permite al desarrollador crear y manejar múltiples hilos o tareas simultáneamente dentro de la misma aplicación. Esto es especialmente útil para aplicaciones complejas que necesitan realizar varias operaciones al mismo tiempo, como manejar conexiones Wi-Fi, leer sensores, y actualizar una interfaz de usuario.
- **Gestión de Memoria:** FreeRTOS incluye mecanismos para la gestión eficiente de la memoria, lo que ayuda a maximizar el rendimiento del sistema y minimizar los riesgos de fugas de memoria o errores por desbordamiento de buffer.
- **Sincronización entre Tareas:** Proporciona métodos para sincronizar tareas, como semáforos, colas de mensajes, y eventos, lo que facilita la comunicación y coordinación entre diferentes tareas que se ejecutan en el sistema.
- **Temporización y Planificación:** Ofrece funciones para la planificación de tareas y manejo de tiempos, permitiendo ejecutar tareas pe-



riódicas o retardar la ejecución de tareas por un tiempo específico.

- **Eficiencia y Rendimiento:** Al estar optimizado para sistemas embedidos, FreeRTOS permite que el ESP32 opere de manera eficiente en términos de consumo de energía y uso de recursos de hardware, lo cual es crucial para dispositivos IoT que a menudo funcionan con baterías.
- **Facilidad de Desarrollo:** El uso de FreeRTOS simplifica el desarrollo de aplicaciones complejas para el ESP32, ya que el desarrollador puede centrarse en las funcionalidades específicas de la aplicación en lugar de los detalles de bajo nivel de la gestión del sistema operativo.
- **Prioridades de Tareas:** Las tareas pueden tener diferentes niveles de prioridad, lo que permite a FreeRTOS ejecutar tareas críticas antes que otras menos importantes, garantizando que los eventos críticos se manejen de manera oportuna.

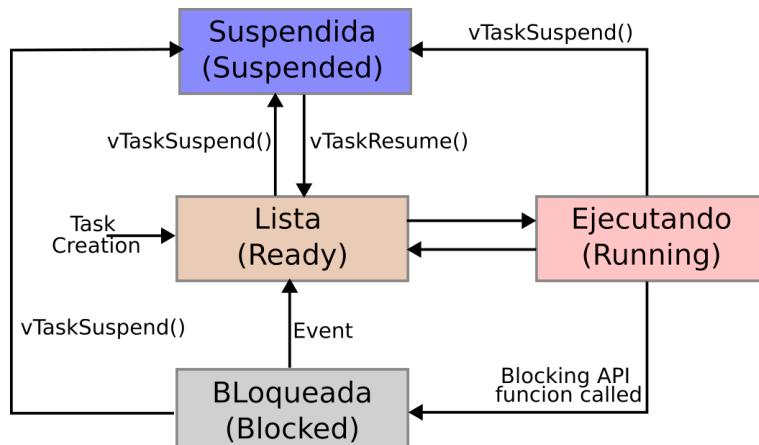


Figura 11: Tareas en FreeRTOS

El código se desarrolló desde cero partiendo de la máquina de estados que se ve en la Fig. 12, la cual representa los diferentes menús preexistentes en la pantalla. El mismo se puede encontrar en el siguiente [Link](#).

El control de la pantalla se realiza con la ayuda del microcontrolador **ATMega328p**, el mismo, se va comunicar por el puerto serial con el ESP32. Con esto se genera una comunicación completa entre el operario, la pantalla, el ATMega328p, el ESP32 y los periféricos, completando así todo el ciclo de funcionamiento del dispositivo.

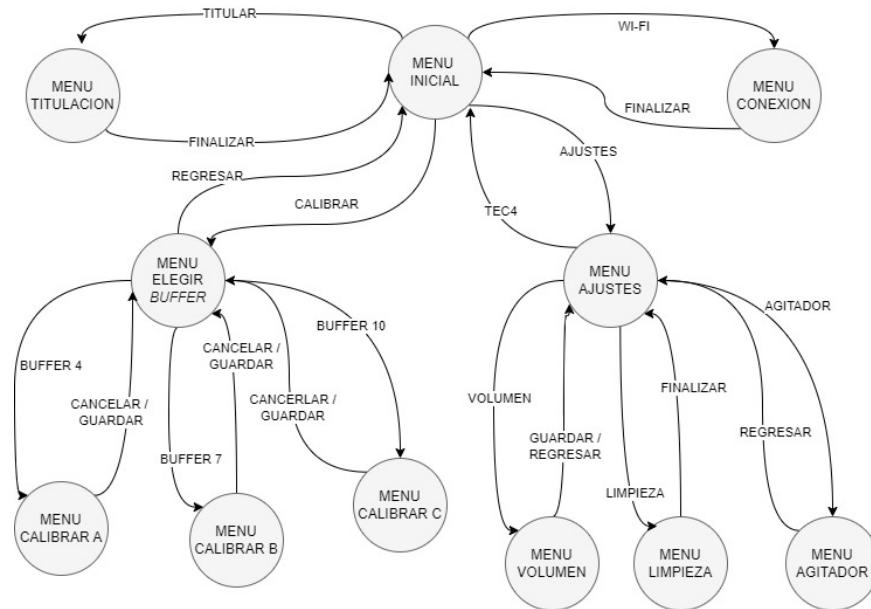


Figura 12: Maquina de Estados - Menú Titulador

Medición de Volumen

Una de las partes claves del dispositivo es la medición correcta del volumen que es inyectado por la bomba, ya que de eso va a depender la exactitud del mismo.

El driver del motor paso a paso con el que se controla la bomba peristáltica funciona a partir de una señal PWM enviada a uno de sus pines. Esta misma es generada por el ESP32 utilizando la librería “ledc.h”.

Una de las funcionalidades con las que cuenta el driver DRV8825 es el microstepping, una técnica que en nuestro caso se aprovecha para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor.

Con el PWM generado, se procedió a determinar el tiempo necesario en el que la bomba deberá estar funcionando para inyectar una determinada cantidad de líquido, en este caso, 1 ml, ya que ese va a ser un valor típico en el funcionamiento del dispositivo, además de que se puede usar como patrón para conseguir otros valores en base al mismo.

Luego de realizar varias mediciones se llegó a la conclusión de que el tiempo de funcionamiento necesario para inyectar 1 ml de líquido es de 12500 ms.

Medición de PH

La medición de PH se realiza con el electrodo y el ADC del ESP32. El electrodo Hanna HI1230B entrega una tensión de baja potencia en mV, la



misma es convertida por el módulo a una de $-2,5\text{ V}$ a $2,5\text{ V}$, en donde el PH 7 esta seteado en los 0 V , esto se puede variar mediante un potenciómetro multivuelta que se encuentra en el mismo módulo (Fig. 13).

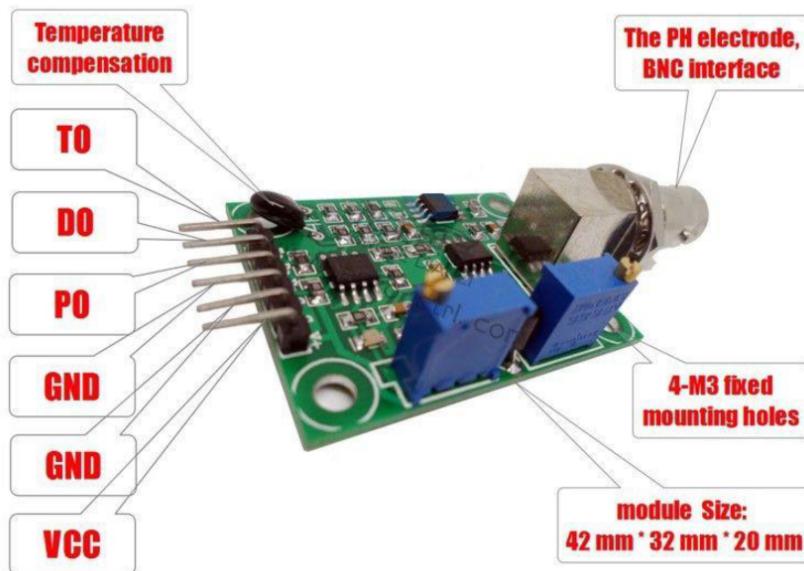


Figura 13: Módulo de Sonda PH

En nuestro caso, nos interesa que el valor de PH 7 se encuentre en los $2,5\text{ V}$. Para lograr esto, lo primero que se realizó es obtener un conector BNC cortocircuitado, para simular un PH neutro de 7. Esta configuración se ve en la Fig. 14.



Figura 14: Conexión neutra con BNC

Luego de esto se procedió a variar el potenciómetro de offset hasta obtener a la salida los $2,5\text{V}$.

Para comenzar con las lecturas, se configuró el ADC con una atenuación de 11 dB y se agregó un filtro digital sencillo para evitar mucha oscilación



en la medición. A este punto, los valores de la pendiente y ordenada de la recta de regresión no estaban calculados, por lo tanto, se realizó la primera calibración con las muestras patrón para generar estos valores y guardarlos en la memoria flash para mediciones futuras.

La recta de regresión generada se ve en la Fig. 15 junto con los puntos críticos, correspondientes a las muestras de PH para la calibración y los valores límite.

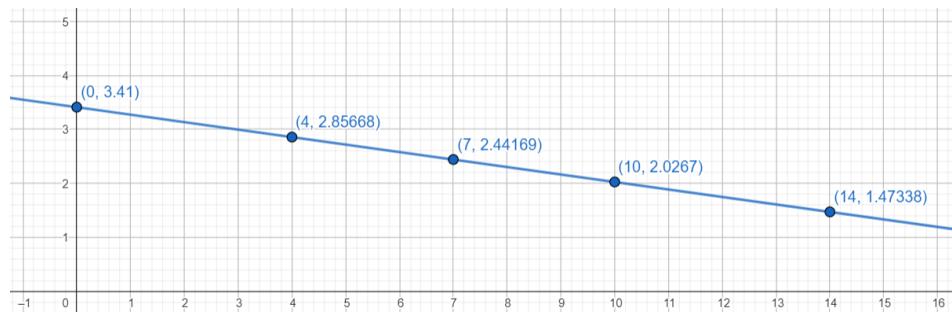


Figura 15: Recta de Regresión

Según lo que muestra la curva se va a tener una excursión de tensión desde los $1,47\text{ V}$ a los $3,41\text{ V}$. Lo que nos da un rango de trabajo de $1,94\text{ V}$. La resolución de PH que tiene el dispositivo es de $0,01\text{ pH}$ y el error máximo que se tenga va a depender estrictamente de que tan contaminadas estén las muestras cuando se realice la calibración, pero según las mediciones obtenidas luego de la calibración, se obtiene lo siguiente:

$$(4,00 \pm 0,03) \text{ pH} \quad (1)$$

$$(10,00 \pm 0,03) \text{ pH} \quad (2)$$

El error va a tender a aumentar en los extremos y a disminuir en el centro (PH 7).

Calibración

Una vez probado y verificado el código referente al ADC, se procedió con la calibración del dispositivo. La calibración del electrodo se realiza de manera automática y esta se realiza ya que con el tiempo el electrodo va cambiando su medición.

Para calibrar este tipo de instrumentos se utilizan 3 muestras patrón de 4, 7 y 10 de pH.

El procedimiento es sencillo y se ve reflejado en los siguientes pasos:



1. Entrar en la sección de Calibración por pantalla.
2. Colocar el electrodo en la muestra de 4 de pH.
3. Seleccionar “Buffer4” y esperar 2 minutos a que el valor de PH de estabilice.
4. Una vez estabilizado seleccionar Guardar.
5. Retirar el electrodo de la muestra y limpiarlo con agua destilada.
6. Absorber con un paño el líquido restante de la punta del electrodo.
7. Repetir esto para las otras dos muestras de PH. En este caso, 7 y 10.
IMPORTANTE: Se debe respetar el orden de toma de muestras, 4, 7 y 10 respectivamente.

Cuando se terminan de tomar todas las mediciones se procede a realizar los cálculos necesarios para generar la recta de regresión. Se obtiene la ordenada y la pendiente de la misma y a estos valores se los guarda en la memoria flash del ESP32, para que cada que se encienda el dispositivo se puedan leer y comenzar a hacer mediciones de manera normal. Cada vez que se realice la calibración estos valores serán actualizados de manera automática.

Algo importante a tener en cuenta en el código es que la recta de regresión generada es de PH en función de Tensión, por lo tanto, se debe despejar el valor que nos interesa a nosotros, en este caso, el de PH.

Agitador

El agitador ya estaba incorporado en el equipo, pero no se encontraba funcional. Se realizó la comprobación de funcionamiento del mismo para luego diseñar e implementar un circuito de control.

El circuito diseñado consta de dos transistores y un juego de resistencias. La activación del motor se realiza por medio de mandar un 1 a un pin de salida del ESP y polarizar el transistor BC548, el cual, a su vez, va a polarizar el BC337 para que comience a circular corriente por el motor.

Se usa esta configuración de dos transistores ya que el BC548 no soporta la corriente necesaria por el motor para funcionar, y el transistor BC337 no se polariza si le inyectamos directamente 3,3 V de la salida del pin del ESP32.

El juego de resistencias es para dividir la caída de tensión y que al motor solo le llegue 1 V solamente, que es la tensión a la que funciona de manera correcta para el propósito buscado.

El circuito generado se ve en la Fig. 16.

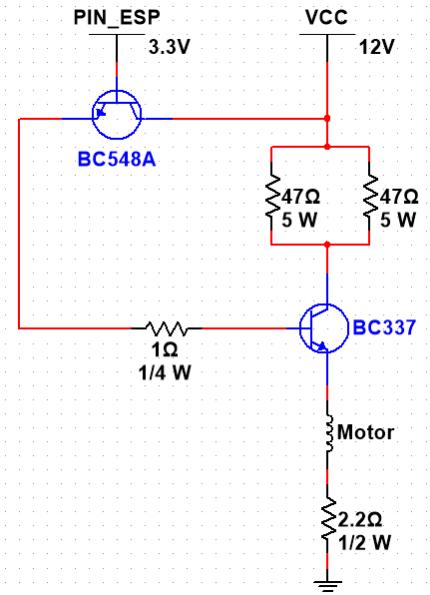


Figura 16: Esquema del Circuito del Agitador

Página Web

Adicionalmente a todo lo que se agregó al instrumento anteriormente, se diseñó y desarrolló una página web en donde se muestran valores de volumen y de PH, junto con un pulsador capaz de activar y desactivar el agitador en cualquier momento.

Se utilizó el protocolo TCP/IP para la comunicación.

- **IP** (Internet Protocol): Se utiliza para direccionar los paquetes entre dispositivos en la red que crea el ESP32.
- **TCP** (Transmission Control Protocol): Garantiza que los datos de la página web (HTTP o cualquier otro protocolo basado en TCP) se entreguen de manera confiable al cliente.
- **HTTP** (HyperText Transfer Protocol): Es el protocolo que típicamente usas para la comunicación entre el navegador y el servidor web del ESP32.

Se usa el ESP32 como access point, por lo tanto, se va a conectar el dispositivo en donde se quiera visualizar la información a la red generada por el microcontrolador, luego, en el navegador se busca la dirección IP definida por código, la cual es fija, y con eso ya se tendrá acceso al servidor web.



El botón ON/OFF es para habilitar o deshabilitar el agitador, el recuadro de PH muestra el valor actual de PH, actualizándolo cada 100 ms. Y por último, la tabla de 100 valores conformada por dos columnas, Volumen y PH respectivamente, muestra los valores guardados en cada inyección al momento de realizar la titulación. Estos valores se restablecen en 0 cada vez que inicie un nuevo proceso de titulación.

Tarjeta SD

Como se puede ver en la Fig. 9, la pantalla táctil cuenta con un lector de tarjetas sd, como acompañamiento a la página web, se decidió agregar al código una función de escritura la cual genera un archivo .txt, escribe los valores de volumen inyectado y su correspondiente PH cada que se realice una titulación y lo guarda en la tarjeta. Esto con el objetivo de tener un respaldo en caso de que no se tenga acceso a la página web.

Producto Final

El instrumento final se ve en la Fig. 17.



Figura 17: Instrumento Terminado y Titulando

Cabe aclarar que en la imagen de arriba falta la carcasa que recubre toda la parte electrónica y deja solo a la vista la pantalla para que el operario pueda usar de forma correcta el instrumento.



Pruebas en el Laboratorio

Con el instrumento terminado se procedió a realizar una titulación en el laboratorio de química con el objetivo de corroborar su funcionamiento.

El analito en este caso es una solución disuelta de Hidróxido de Sodio, y el titulante es una solución disuelta de Ácido Clorhídrico. Como se agrega ácido a una base, el PH va a variar de un valor alto, típicamente 13-14, a un valor bajo de 1-2.

El volumen del analito que se decidió colocar es de 30 ml , sabiendo previamente como se componen las sustancias se dedujo que el punto de inflexión debería estar en torno a los 27 ml de titulante inyectado.

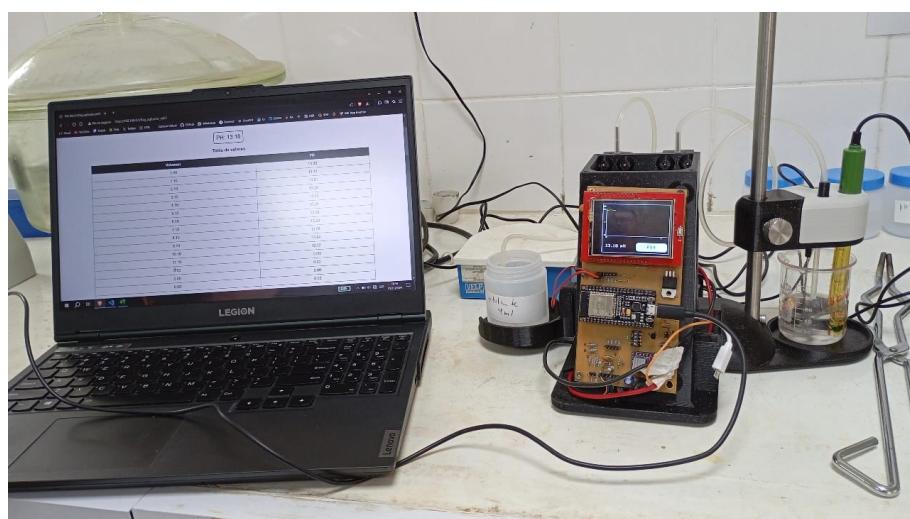


Figura 18: Proceso de Titulación

Con la titulación terminada, se obtuvo un volumen de inflexión de $25,4\text{ ml}$. El proceso se detuvo de manera manual para acelerar la medición, por lo tanto el volumen inyectado teórico fue de $29,5\text{ ml}$, el cual, junto con el volumen ya existente de analito, nos proporciona un volumen total de $59,4\text{ ml}$. Al medir el volumen de la solución de manera práctica se obtuvo un valor de 63 ml . Esto permite llegar a la conclusión de que se estaba inyectando mas volumen del necesario en cada inyección, y, por consiguiente, la inflexión se produjo antes de lo esperado.

Para corregir esto se calculó un factor como la relación entre el volumen real y el teórico, para luego multiplicar cada volumen medido por el mismo, y así, obtener el volumen de inflexión que se hubiera tenido si se inyectaba 1 ml o $0,1\text{ ml}$ de manera exacta. La gráfica que muestra el resultado se ve a continuación.

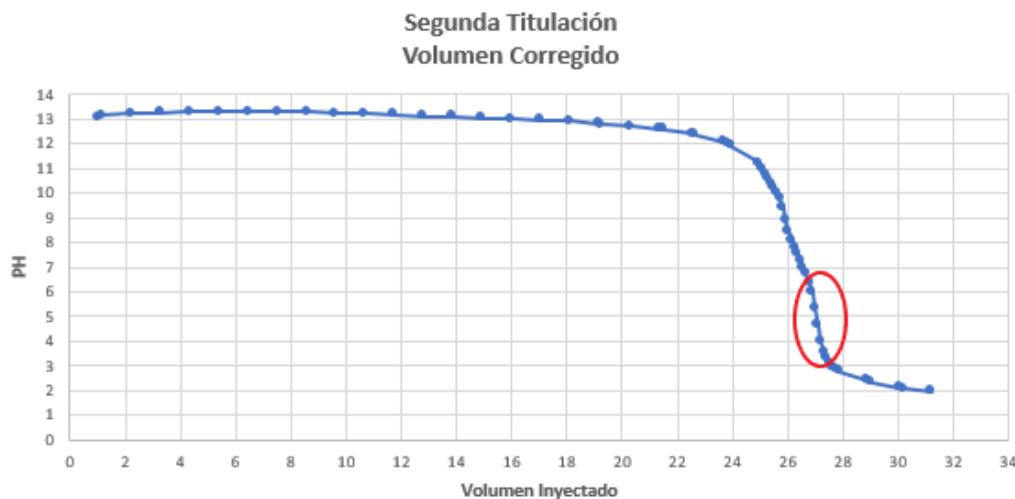


Figura 19: Gráfica de los valores de PH y Volumen medidos

Como se ve en la Fig. 19, luego de aplicar el factor de corrección, el valor de volumen inyectado en donde se produce la mayor variación de PH es en torno a los 27 ml . Con esto se llega a la conclusión de que el instrumento funciona de manera correcta.

El archivo de excel en donde se pueden encontrar las tablas y gráficas se encuentra en el mismo repositorio que el código.

CONCLUSIONES

En este informe se plasmó todo lo realizado para el trabajo final correspondiente a las cátedras Técnicas Digitales III y Medidas Electrónicas II de 5to año de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Este proyecto se comenzó a mediados del año 2024 con el objetivo de reforzar los temas vistos en ambas cátedras y como método de promoción.

El desarrollo de todo el trabajo, tanto por parte de software como de hardware, se fue realizando semana a semana. En cada una de ellas se agregaba una funcionalidad nueva y se la probaba hasta llegar al resultado final.

Para la realización del software se utilizaron técnicas de programación vistas en la cátedra Técnicas Digitales III, y en el caso de las mediciones, calibraciones y errores fueron solventados con ayuda de los conocimientos obtenidos en la cátedra Medidas Electrónicas II.

Los objetivos planteados en el anteproyecto fueron cumplidos en su totalidad, excepto el medir la temperatura ambiente para corregir la variación de la medición en el proceso de titulación, el cual no se tuvo en cuenta por el



mínimo error que esto generaba y por el poco tiempo con el que se contaba. Luego de corroborar el funcionamiento del dispositivo y de la página web, se concluye que el trabajo cumple con las expectativas.

Como posibles mejoras futuras se plantean las siguientes:

- Medir de temperatura y humedad para corregir de manera automática el error que la variación de estos valores pueda generar en la medición.
- Mostrar el volumen de inflexión en la página web luego de la titulación.
- Agregar la funcionalidad de inyección de líquido con un volumen especificado por el operario.
- Corroborar el funcionamiento del código referente a la escritura en la tarjeta SD.

REFERENCIAS

- [1] Schneider Electric. *NEMA size 17 1.8° 2-phase stepper motor*. URL: <https://datasheetspdf.com/pdf-down/N/E/M/NEMA17-schneider.pdf>.
- [2] ILITEK. *a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K color*. URL: <https://electronicavm.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/datasheet-chip-lcd-ili9341.pdf>.
- [3] Hanna Instruments. *Electrodo de pH relleno de gel con cuerpo de PEI y conector BNC*. URL: <https://www.ddbiolab.com/article/052006>.
- [4] Texas Instruments. *DRV8825 Stepper Motor Controller IC*. URL: https://www.ti.com/lit/ds/slvs-a73f/slvs-a73f.pdf?ts=1713789274158&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
- [5] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32 Datasheet*. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>.