



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL SAN NICOLÁS**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PROBLEMA DE INGENIERÍA**

**TÉCNICAS DIGITALES III**

**Sistema de monitoreo y  
gestión del caudal de agua**

Integrantes:

- Grosso, Agustín
- Martelli, Genaro

Docentes:

- Profesor: Poblete, Felipe Fernando
- Jefe de trabajos prácticos: González, Mariano Martín

**AÑO 2024**

## **Índice**

1. Objetivo(s) del Trabajo
2. Alcance
3. Posibles Aplicaciones
4. Conclusiones y Recomendaciones
5. Materias Integradas
6. Profesores o Especialistas Entrevistados
7. Bibliografía
8. Desarrollo

Introducción

Teoría de Funcionamiento

Circuitos o Diagramas

Resultados de las Pruebas

Inconvenientes y Dificultades – Lecciones Aprendidas

9. Anexos

## **1. Objetivo(s) del Trabajo**

Implementar un sistema de monitoreo y gestión de caudal para el suministro de agua potable a barcos en puerto, que permita controlar el uso del recurso, generar conciencia en los usuarios y aplicar una tarifa por consumo excesivo.

### Objetivos específicos:

1. **Monitorear el Consumo:** Registrar el caudal de agua suministrado en tiempo real y almacenar los datos en una base de datos central.
2. **Controlar el Exceso:** Establecer un límite de cortesía de 20.000 litros y facturar a una tarifa de USD\$0,05 por litro por cualquier consumo adicional.
3. **Monitoreo:** Generar reportes y visualizaciones en una interfaz que informen a la gestión sobre su consumo de agua, promoviendo una cultura de responsabilidad ambiental y sostenibilidad.
4. **Optimizar Recursos:** Reducir el costo asociado al suministro de agua, optimizando el uso de energía eléctrica, dosificación de químicos, y mantenimiento de los pozos de agua potable a través de un control adecuado del caudal.

## **2. Alcance**

El proyecto incluye el diseño de una interfaz de usuario y la implementación de una base de datos SQL. El sistema permitirá ver el consumo en tiempo real y aplicar tarifas en caso de consumo excesivo.

Quedan fuera del alcance las tareas relacionadas con infraestructura física del puerto, la instalación del sensor de caudal, la configuración de un controlador, la transmisión de datos a través de LoRaWan la instalación de la red de agua y la configuración y estructura de antenas.

### **3. Posibles Aplicaciones**

Este sistema tiene múltiples aplicaciones, entre ellas:

- **Comercial:** Puede implementarse en otros puertos comerciales para regular, controlar y gestionar el uso y suministro de agua potable con posibilidad de facturación en caso de exceder los límites.
- **Social y Ambiental:** Fomenta el uso racional del agua, ayudando a conservar un recurso escaso evitando el desperdicio y promover la sostenibilidad.
- **Didáctica:** La solución desarrollada puede ser utilizada para prácticas de optimización del uso de recursos hídricos en puerto y reducción de pérdidas.

### **4. Conclusiones y Recomendaciones**

El sistema propuesto permitirá un control eficiente del recurso, promoviendo un uso responsable y estableciendo un marco justo de consumo y facturación. Se recomienda realizar una capacitación inicial para los operadores en cuanto al manejo del entorno o interfaz del sistema y una revisión periódica de mantenimiento para garantizar su efectividad y confiabilidad más allá de que se halla hecho foco en un bajo mantenimiento para optimizar costos.

### **5. Materias Integradas**

Este proyecto integra contenidos de varias materias:

- **Técnicas Digitales III:** Sistemas de monitoreo y la comunicación de dispositivos en red.
- **Instrumentación y control de procesos:** Selección apropiada del sensor según la aplicación y técnicas de medición de caudal.
- **Comunicaciones I:** Información acerca de la comunicación y protocolos a utilizar.

## 6. Profesores o Especialistas Entrevistados

- **Luchessi Alejandro:** Consultado sobre la implementación de sensores de caudal y su calibración.
- **Cristian Palomeque:** Asesoría sobre la integración del sistema de monitoreo con protocolo TCP/IP.
- **María Fania Turcutto:** Especialista en Muelle Acindar Grupo ArcelorMittal.

## 7. Bibliografía

- **Apuntes de Cátedra:** Documentación de TCP/IP provista
- **Libros y Sitios de Internet:** Documentación de Protocolo LoRaWan y catálogos de productos con dicha tecnología, manuales de sensores de caudal de Endress&Hauser, Siemens y Krohne.

## 8. Desarrollo

### Introducción

Un barco promedio de los que circulan por el Río Paraná transporta 50.000 litros de agua potable, que debe administrar para circular durante 7 días hasta amarrar en un nuevo puerto y reponer. Suponiendo el más exagerado de los casos, dichos barcos suelen contar con 15 personas como tripulación las cuales consumen un estimado de 150 litros de agua por día. Esto da un total de 15.750 litros utilizados en dichos 7 días, por lo que al llegar al puerto sobre el que se está trabajando en este proyecto, los barcos deberían contar con alrededor de 34.250 litros en su tanque aproximadamente. Suponiendo un caso aún peor, en el que surgieron imprevistos y se haya utilizado bastante más agua potable que la usual, dígase 20.000 litros en lugar de 15.750; seguiría conteniendo 30.000 litros en su interior.

He aquí reflejada la problemática, estos datos son estimaciones del volumen que debería ser utilizado, pero no es lo que sucede realmente ya que no hay un control del agua potable que se le suministra de cortesía (sin ningún tipo de costo) a los barcos, por lo que el suministro suele ser mucho mayor a los 20.000 litros; de hecho, en ocasiones suelen llenarse depósitos completos. Finalmente, esto tiene como consecuencia que la tripulación no tenga conciencia acerca de la cantidad de litros de agua potable que se desperdicia. La posibilidad de tener un recurso tan valioso

y, en ocasiones, escaso como lo es el agua potable de forma gratuita es lo que deriva en un uso irracional del mismo.

Finalmente, la propuesta no se basa en lucrar con un recurso como lo es el agua potable, sino que se continuaría suministrando agua de cortesía, pero llevando a cabo una medición del caudal de forma constante y estableciendo un límite. Sin embargo, la idea no es que, si un barco utiliza más volumen de agua del usual, suministrarle 20.000 litros y que el resto de su viaje este al límite de escasear del recurso; por lo que si un buque no hace buen uso del agua potable no será necesario sufrir de escaseo durante todo el resto de su viaje hasta el próximo puerto, sino que podrá cargar un volumen mayor a 20.000 litros, pero el excedente tendrá un costo en dólares. El costo en países como Italia o España es de 0,05USD por litro, por lo que en el caso de que un barco desea llenar el tanque, se le cobraría un precio por los 30.000 litros excedentes de 1.500 USD. Claramente, este valor no afecta a la riqueza de la empresa dueña del puerto, sino que como se dijo anteriormente es a fines de concientizar, podría verse como una multa.

De esta forma, es probable ver grandes cambios en el uso del recurso, y poco a poco se regularían las cargas normalizando los valores aptos de manejo del agua potable en barcos.

## **Teoría de Funcionamiento**

Para llevar a cabo el monitoreo, podría dividirse el sistema en dos instancias, observando la figura 1. La primera de ellas sería llevada a cabo en el muelle, donde un operario a través de una interfaz del estilo HMI, daría de alta la carga. Para esto, únicamente debería colocar el nombre del barco e iniciar la carga, la fecha y hora es cargada automáticamente gracias a la programación de la interfaz. Al mismo tiempo, se permitiría el paso del agua de forma manual y se habilitaría el caudalímetro. Este instrumento se basa en un sensor de flujo que mide el caudal de agua mediante la ecuación  $Q=V \times A$  (donde Q es el caudal, V la velocidad del fluido, y A es el área de la tubería). Este sensor emite una señal de 4-20 mA que es interpretada por un controlador y enviada al servidor mediante LoraWan. Es en este punto, donde entra en funcionamiento la segunda instancia ya que los datos son recibidos por una estructura de antenas y enviadas a un servidor que los almacena en una base de datos SQL. Para que otro operario pueda trabajar con esos datos, se diseña una segunda interfaz para la lectura, la cual permite ver en tiempo real los valores de caudal, el caudal acumulado para saber que volumen se cargó, el nombre del barco, la fecha, la hora y el costo, el cual será USD 0 en caso de no superar los 20.000 litros de cortesía, pero aumentará conforme se supere ese valor.

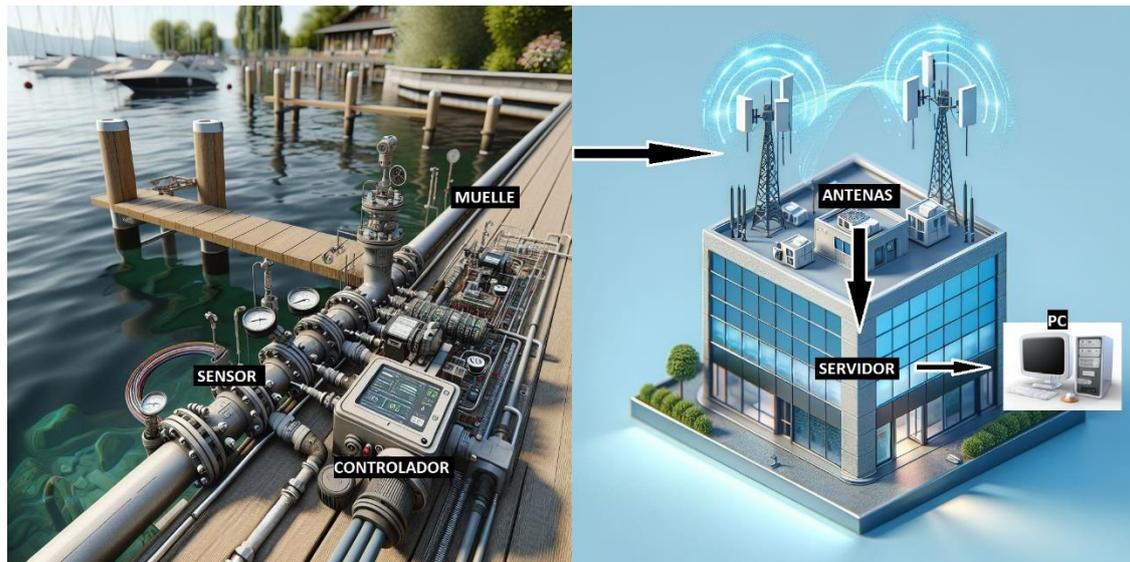


Figura 1: Flujo de datos.

- **Conexión y selección de materiales:** Configuración eléctrica de los sensores y el controlador.

Selección del sensor:

Tipo	Precisión	Robustez	Mto.	Costo
Electromagnético	Media	Alto	Bajo	Medio
Placa Orificio	Media	Alto	Alto	Bajo
Tobera	Media	Alto	Bajo	Medio
Ultrasónico	Media	Medio	Medio	Alto
Pitot	Baja	Medio	Alto	Bajo

Figura 2: Comparación de sensores

Dado el ambiente hostil en el muelle, la necesidad de medir grandes volúmenes de agua, que la precisión no es el factor más crítico y el conocer que el agua proviene de un pozo de agua potable con una presión de 3 a 5 kg/cm<sup>2</sup> constante, las mejores opciones se inclinan hacia caudalímetros robustos, de bajo mantenimiento y costo moderado.

El caudalímetro electromagnético parece ser la mejor opción debido a la precisión es intermedia que se ajusta a nuestra aplicación, por ser robusto, requerir bajo mantenimiento, tener

un costo intermedio y su instalación conlleva a que la intervención de la cañería sea la menos invasiva.

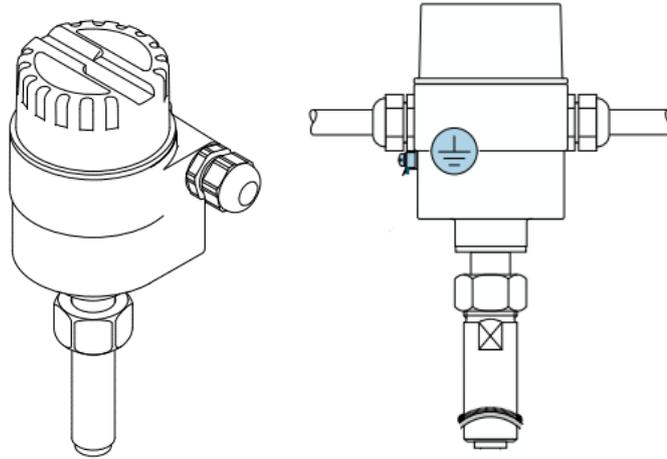


Figura 3: Sensor electromagnético

Algunas características generales:

Caudalímetro electromagnético DTI200 Endress & Hauser

- Utiliza el principio de inducción electromagnética para medir el caudal de líquidos conductivos.
- Mide el voltaje inducido cuando el fluido pasa a través del campo magnético generado por el sensor, proporcional a la velocidad del fluido.
- Proporciona salidas de corriente (4-20 mA) y relé para integración en sistemas de control.
- Funciona en un rango de temperaturas ambientales de -20 a +60 °C.

Selección del Protocolo de comunicación LoRaWAN:

Lugar de instalación:



Figura 4: Zona de instalación en muelle

Se utiliza dicho protocolo debido a que la remota del PLC se encuentra del otro lado de muelle en una zona muy alejada del lugar en donde se requiere instalar el instrumento de medición. Por esto se utiliza dicho protocolo inalámbrico, el cual evita el cableado tedioso, la infraestructura requerida y la mano de obra riesgosa y costosa a implementar a lo largo del muelle. Se cuenta con tablero de alimentación cercano al medidor con lo cual, se ahorraría el costo extra del instrumento que implementa panel solar y en donde se harían las conexiones necesarias para el transmisor de caudal.

Protocolo LoRaWAN:

**LoRaWAN** (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de comunicación inalámbrica diseñado específicamente para aplicaciones IOT (Internet de las Cosas) que requieren la **transmisión de datos a baja velocidad en distancias largas**. Es una excelente opción para ambientes industriales debido a su capacidad para ofrecer conectividad de largo alcance con un consumo de energía muy bajo, lo cual es ideal para dispositivos que operan con baterías o energía limitada.

Desventajas: **Baja tasa de datos:** No es adecuado para aplicaciones que requieren transmisión de datos de alta velocidad, como video o grandes volúmenes de datos, lo cual no es nuestro caso.

**Latencia alta:** La comunicación puede ser más lenta comparada con otras tecnologías de red, lo cual puede ser una limitante para aplicaciones de control en tiempo real. En nuestro caso no es determinante la transmisión tan precisa de los datos en tiempo real ya que, mover grandes volúmenes de caudales no es rápido y sabiendo de que los barcos permanecen de 2 a 6 días en el muelle estudiado.

Selección del controlador: (ambos de la marca Milesight)



Figura 5: EM300-DI



Figura 6: UC502

- Interfaces de Entrada y Salida:

Entradas Digitales y Analógicas: Soporta múltiples entradas digitales y analógicas, lo que le permite conectar una variedad de sensores y dispositivos. En nuestro caso poder transmitir una señal de 4 a 20mA proveniente del transmisor de caudal.

- Aplicaciones Versátiles:

Ideal para monitoreo y control remoto en sistemas de gestión de agua, control de edificios, automatización industrial, gestión de energía y agricultura inteligente.

Puede integrarse en sistemas SCADA y otras plataformas de gestión de datos para una supervisión centralizada y control de operaciones.

- Memoria interna:

Contiene una memoria interna que retiene una determinada cantidad de datos en forma de historial acumulativo, dependiendo del modelo, el cual se va a ir transmitiendo en tiempo real hacia

el servidor. Esto es útil para aliviar el trabajo del servidor y que el mismo no tenga que exigirse haciendo la acumulación del caudal que se está suministrando.

- Capacidades de Alimentación:

Opera con una alimentación de CC (corriente continua) y es compatible con una amplia gama de voltajes, lo cual facilita su integración en diferentes entornos industriales.

Diseñado para operar con baterías y sistemas de energía solar, aumentando la flexibilidad de instalación en áreas remotas sin acceso a la red eléctrica.

- Robustez y Durabilidad:

Diseñado para operar en condiciones ambientales exigentes, con un rango de temperatura de funcionamiento amplio y protección contra polvo y agua (a menudo con clasificación IP65 o superior).

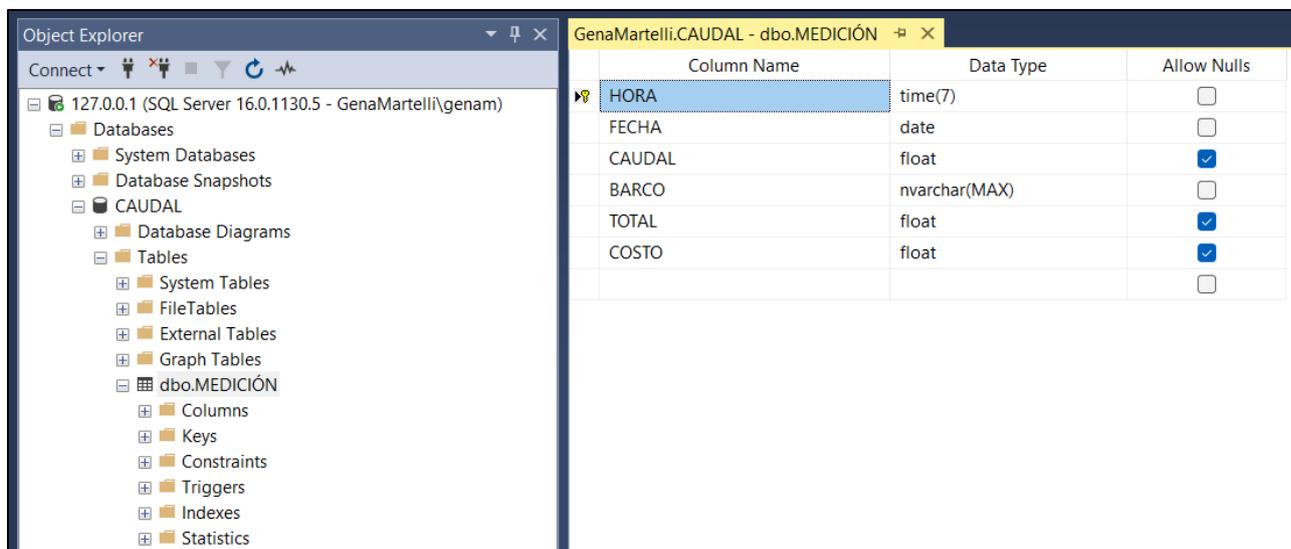
Carcasa robusta que protege los componentes internos de impactos y condiciones adversas, haciéndolo adecuado para instalaciones exteriores.

Por último, se optó por la opción más económica (EM300-DI) por no necesitar panel solar ni la necesidad de tener tantas entradas y salidas como ofrece en UC502.

Como base de datos, se implementa un servidor a través de SQL Server, el cual es un sistema de gestión de bases de datos relacionales desarrollado por Microsoft. Es una herramienta que permite la creación, administración y mantenimiento de bases de datos, orientada tanto a pequeñas aplicaciones como a grandes sistemas empresariales. Utiliza un lenguaje basado en SQL (Structured Query Language), conocido como Transact-SQL (T-SQL), que es una extensión del estándar SQL y permite realizar consultas, manejar transacciones y desarrollar procedimientos almacenados con mayor flexibilidad. SQL Server está diseñado para ofrecer un alto rendimiento, escalabilidad y seguridad en el manejo de datos, lo que permite almacenar información crítica de cualquier tipo de organización.

El tipo de bases de datos que se utilizan en SQL Server es relacional. Esto significa que los datos se organizan en tablas, que a su vez se componen de filas y columnas. Estas tablas pueden tener relaciones entre sí a través de claves primarias y claves externas (foreign keys), permitiendo el enlace de datos de manera coherente y estructurada. Este modelo relacional es altamente eficiente para

realizar operaciones complejas de consulta, filtrado, agrupación y análisis de datos. En este caso, la tabla implementada es la de la figura 7.



Column Name	Data Type	Allow Nulls
HORA	time(7)	<input type="checkbox"/>
FECHA	date	<input type="checkbox"/>
CAUDAL	float	<input checked="" type="checkbox"/>
BARCO	nvarchar(MAX)	<input type="checkbox"/>
TOTAL	float	<input checked="" type="checkbox"/>
COSTO	float	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Figura 7. Tabla implementada en base de datos.

Para poder utilizar SQL Server, generalmente es necesario configurar un entorno en el que funcione, conocido como servidor. Un servidor en este contexto es un sistema que aloja la base de datos y maneja las peticiones de los usuarios, permitiendo el acceso, modificación y administración de los datos. SQL Server puede instalarse en una máquina local o en un entorno en la nube, permitiendo que diferentes usuarios y aplicaciones se conecten a él de manera remota. Además, soporta múltiples instancias, lo que significa que en un solo servidor físico pueden coexistir varias instancias de SQL Server, cada una con sus bases de datos y configuraciones independientes.

Una herramienta fundamental para interactuar con SQL Server es el SQL Server Management Studio (SSMS). Esta es una aplicación de escritorio también desarrollada por Microsoft que ofrece una interfaz gráfica para gestionar de manera más sencilla y visual tanto los servidores como las bases de datos. SSMS facilita la creación, modificación y eliminación de bases de datos, así como la creación de tablas, índices, procedimientos almacenados, vistas y más. Además, es posible también gestionar la seguridad del servidor y las bases de datos, configurando usuarios, roles y permisos que aseguran el acceso controlado a la información.

Para la etapa de programación de ambas interfaces, tanto la parte de habilitación de carga como la de lectura, se programó en VisualStudio. En este desarrollo, por una cuestión de practicidad

se programó todo en una misma interfaz, pero a continuación se refleja en las figuras 8 y 9, como sería el diagrama de flujo de la programación y su funcionamiento para cada caso.

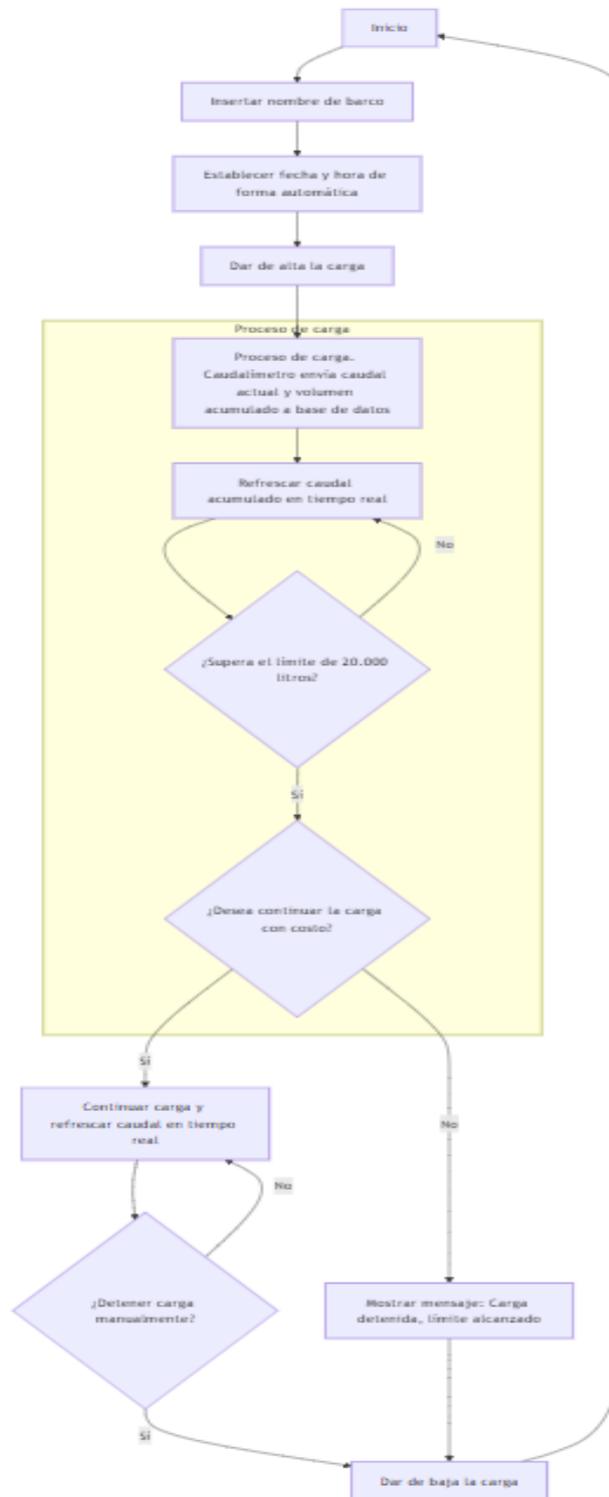


Figura 8. Diagrama de flujo de interfaz de alta de carga.

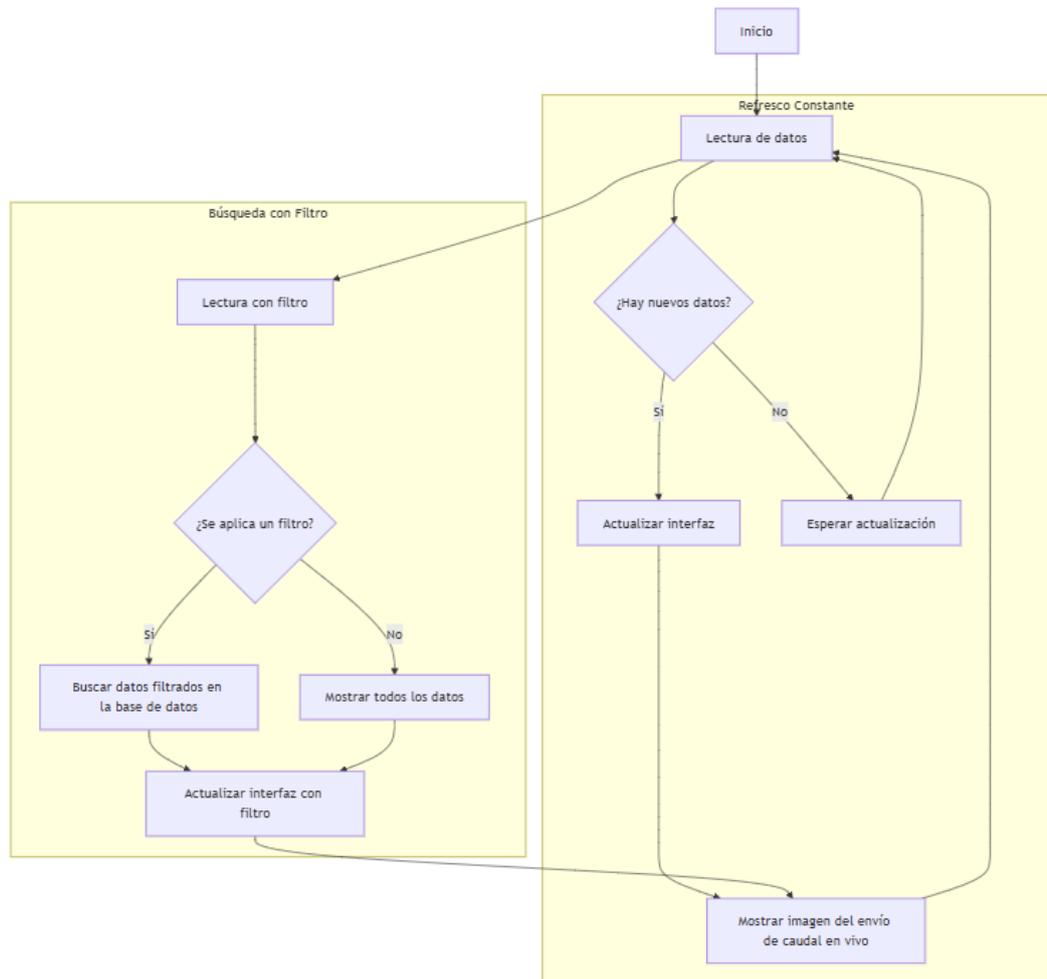


Figura 9. Diagrama de flujo de interfaz de lectura.

Para la comunicación de la interfaz de usuario con el servidor se utilizó protocolo TCP/IP, a través del código de la figura 10. Este protocolo está organizado en capas, siguiendo el modelo de arquitectura de red conocido como el modelo TCP/IP. Estas capas funcionan de manera conjunta para garantizar que los datos se transmitan correctamente desde un dispositivo de origen hasta un dispositivo de destino, incluso si están en redes diferentes. Las cuatro capas principales del modelo TCP/IP son la capa de enlace de datos, la capa de Internet, la capa de transporte y la capa de aplicación.

En la capa de transporte, el protocolo más importante es TCP (Transmission Control Protocol). TCP es un protocolo orientado a la conexión que garantiza una comunicación fiable entre dos dispositivos. Antes de transmitir datos, TCP establece una conexión entre el remitente y el receptor a través de un proceso llamado "handshake" o "apretón de manos", que asegura que ambos extremos están listos para la comunicación. TCP también descompone los datos en segmentos más pequeños para su envío y, al llegar al destino, vuelve a ensamblarlos en su orden correcto. Además, TCP incluye mecanismos para verificar que todos los segmentos se reciban correctamente, solicitando

la retransmisión en caso de que alguno se pierda o se corrompa durante el tránsito. Esto hace que TCP sea ideal para aplicaciones donde la precisión y la integridad de los datos son cruciales, como la transferencia de archivos, el correo electrónico y la navegación web.

Por otro lado, en la capa de Internet, el protocolo fundamental es IP (Internet Protocol). IP es un protocolo sin conexión que se encarga de direccionar y enrutar los paquetes de datos entre los dispositivos en la red. Cada dispositivo en una red basada en TCP/IP tiene una dirección IP única, que actúa como un identificador para el envío y recepción de datos. IP se encarga de fragmentar los datos en paquetes más pequeños y etiquetarlos con la dirección IP del destino, para que puedan ser encaminados a través de la red por routers y otros dispositivos de red.

```
private async Task ActualizarTotalAguaDesdeBD()
{
    string connectionString = "server=192.168.100.1,1433;database=CAUDAL;User Id=usuario;Password=usuario;TrustServerCertificate=True;";
    try
    {
        using (SqlConnection conexion = new SqlConnection(connectionString))
        {
            await conexion.OpenAsync();
            string query = "SELECT TOP 1 TOTAL, COSTO, BARCO FROM MEDICIÓN ORDER BY FECHA DESC, HORA DESC";
            using (SqlCommand comando = new SqlCommand(query, conexion))
            {
                using (SqlDataReader reader = await comando.ExecuteReaderAsync())
                {
                }
            }
        }
    }
}
```

Figura 10. Código para establecer conexión con el servidor.

Para la parte de conexión se programó implementando la librería *System.Data.SqlClient* y se crea una cadena de caracteres que contiene la dirección IP del servidor, el puerto habilitado para la conexión, el usuario, la contraseña y la aceptación de certificados de servidor auto-firmados, útil en entornos de desarrollo para evitar errores de certificación. Se crea una instancia de *SqlConnection* utilizando la cadena de conexión especificada. Luego, se llama a *conexion.OpenAsync()* para abrir la conexión de forma asíncrona. Esto permite que la aplicación no se bloquee mientras espera que se establezca la conexión, mejorando la experiencia del usuario. *SqlCommand* se utiliza para definir una consulta SQL que se ejecutará en la base de datos. La consulta selecciona los valores de TOTAL, COSTO y BARCO de la tabla MEDICIÓN, ordenados por FECHA y HORA en orden descendente, y obtiene solo el primer registro (TOP 1) debido a que, en este caso, se utiliza esta consulta para actualizar el nombre, costo y volumen de caudal suministrado en la última carga realizada.

Como se mencionó con anterioridad, para el alcance propuesto, se desarrolló la programación de ambos códigos en conjunto para visualizar todo en una misma interfaz. Para crear esta ventana se implementó una plantilla de Microsoft para desarrollar aplicaciones de escritorio llamada WPF. Windows Presentation Foundation, es un framework con interfaces de usuario modernas y altamente personalizables.

El desarrollo en WPF se basa en el uso de XAML (Extensible Application Markup Language), un lenguaje de marcado que permite definir la estructura de la interfaz de usuario de manera declarativa. XAML facilita la separación entre la lógica de presentación (el diseño visual) y la lógica de negocio (el código), lo que resulta en un diseño más limpio y mantenible. A través de XAML, se pueden definir elementos de la interfaz como ventanas, botones, cuadros de texto, imágenes y otros controles de forma intuitiva.

El enfoque modular de WPF también permite un diseño altamente personalizable a través de plantillas y estilos, lo que facilita cambiar la apariencia de los controles sin necesidad de modificar el código. La interfaz diseñada, se observa en la figura 10, si bien la imagen del tanque puede parecer confusa, como si se estuviese midiendo nivel del barco, en realidad evoluciona conforme al volumen acumulado desde el inicio de la carga.

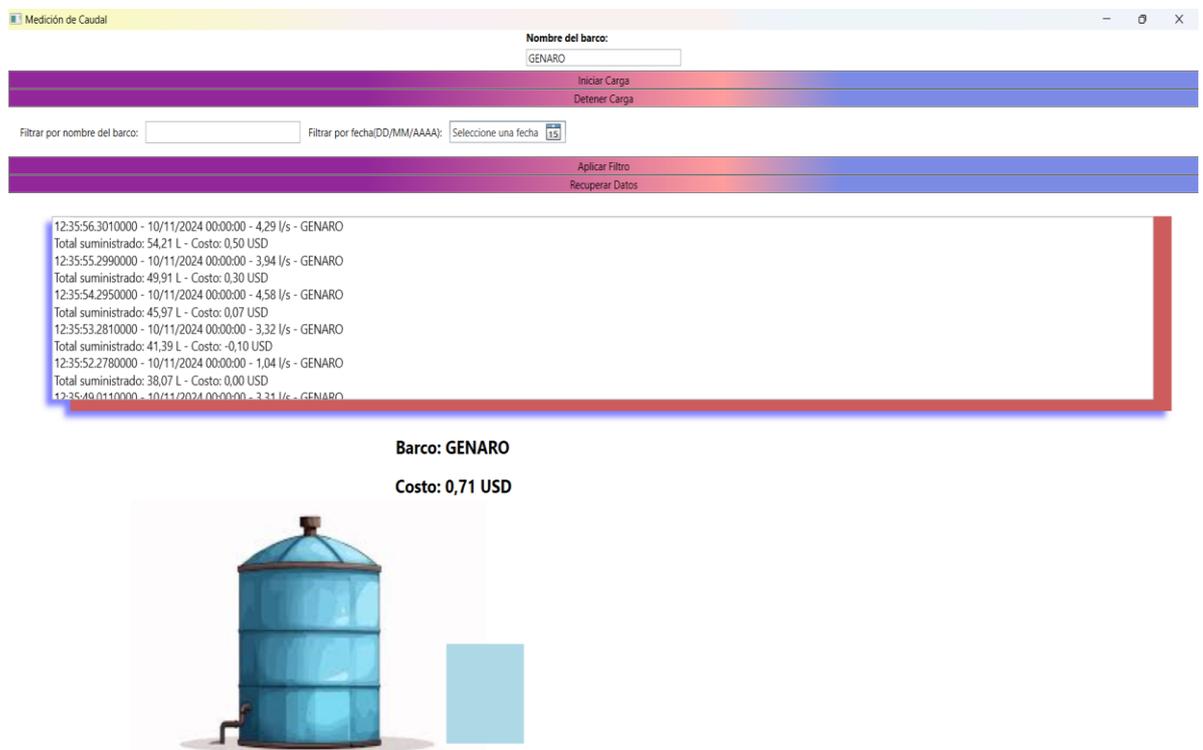


Figura 11. Interfaz programada para el problema de ingeniería.

## Inconvenientes y dificultades – Lecciones aprendidas

Durante las pruebas se presentaron los siguientes inconvenientes:

- **Falla en la comunicación y transmisión de datos:** Se identificaron problemas de comunicación debido a configuraciones de red en el servidor y con la IP de las computadoras

en donde se hicieron las pruebas. Se resolvió mediante ajustes en la configuración luego de indagar más en documentos e información provista por la cátedra.

**Lecciones Aprendidas:**

- La implementación y utilización del protocolo TCP/IP para la comunicación con el servidor reforzó conceptos específicos para asegurar la integridad de los datos, la comunicación efectiva real entre dispositivos para el flujo de datos.

**9. Anexos**

- **Listados de Programas:** Código del desarrollo de la interfaz de usuario.