



Guayaquil, 26 de mayo de 2025

Ph. D.
Erwin Delgado Bravo
Decano FCNM
En su despacho.-

Mediante la presente pongo a su conocimiento el informe con las actividades desarrolladas durante mi comisión de servicios fuera del país.

INFORME DE ACTIVIDADES EN EL EXTERIOR

DATOS DEL SERVIDOR / PROFESOR/ TRABAJADOR

Nombre:	Jennifer Stefanya Zambrano Aranea
Nº Cédula:	0928620483
Título Académico:	Ing. Química
Unidad:	Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Cargo:	Técnica de Investigación I
De ser profesor: (TC/MT/TP)	

INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ACTIVIDAD Y/O COMISIÓN DE SERVICIOS

País(es):	Bélgica		
Ciudad(es):	Gante		
Institución(es):	HOGENT		
Fecha de salida:	7 de abril del 2025	Fecha de retorno:	7 de mayo del 2025

COMITIVA CONFORMADA PARA EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES

• Dr. Suanny Mosquera –Investigadora y profesora, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. • Dr. Luis Domínguez – Director del Centro de Agua y Desarrollo Sustentable (ESPOL). • Dr. ing. Bjorge Decostere – Investigador, Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes de Gante (HOGENT), Centro de Investigación en Salud y Tecnología del Agua. • Jenka Taffairne – Ayudante de laboratorio, Centro de Investigación en Salud y Tecnología del Agua (HOGENT).



OBJETIVO PRINCIPAL O FINALIDAD DE LA ACTIVIDAD

Esta estancia tiene como objetivo el entrenamiento en biorreactores para la valorización de aguas residuales, con enfoque en la automatización, control y adquisición de datos. Esto contribuirá al diseño de un sistema optimizado de control en biorreactores, que será implementado en el laboratorio de Procesamiento de Agua y Sedimentos de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas – FCNM.

OTROS OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD

Capacitación en el uso del software LabVIEW para la adquisición y procesamiento de datos en biorreactores, para la configuración de sensores para la medición de parámetros fisicoquímicos.

Implementación de un sistema de adquisición de datos para la recopilación, análisis y visualización en tiempo real de variables operativas de biorreactores como pH, Oxígeno Disuelto.

Entrega de un informe técnico con los resultados y análisis de las corridas experimentales del sistema implementado.

PERSONAS CON QUIENES SE REALIZARON ENCUENTROS OFICIALES

Nombre:	Bjorge Decostere	Cargo:	Profesor e Investigador de HOGENT
Actividades/responsabilidad importantes:	Promotor del proyecto VLIR-UOS WAVERR		
Relación con ESPOL:	Participante en proyectos de investigación entre ESPOL-HOGENT		

Nombre:		Cargo:	
Actividades/responsabilidad importantes:			
Relación con ESPOL:			

DETALLE DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Actividades días 1 y 2: (Salida del país)	Salida de Ecuador y llegada a Bélgica al lugar de alojamiento
Actividades día 3:	Inicio de actividades dentro del laboratorio. Instalación del software LabVIEW y configuración de los módulos de Adquisición de Datos (DAQ).
Actividades día 4:	Identificación de sensores y actuadores disponibles, revisión de protocolos de comunicación de todos los equipos involucrados.
Actividades día 5:	Desarrollo de diagramas de flujo y estructura del código en LabVIEW.
Actividades días 6 y 7:	Fin de semana.

Actividades días 8 y 9:	Implementación de un sistema de control automatizado para un reactor biológico secuencial (SBR) en el software estudiado.
Actividades días 10 y 11:	Se desarrolló una interfaz virtual (VI) en LabVIEW que permite gestionar las distintas fases del ciclo del reactor SBR: alimentación, aireación, desnitrificación, sedimentación y descarga.
Actividades día 12:	Integración de sensores (pH, temperatura y Oxígeno Disuelto) y actuadores (bombas, aireadores).
Actividades días 13 y 14:	Fin de semana.
Actividades días 15 y 16:	Conexión entre el VI del SBR y una tarjeta DAQ, configurando correctamente los canales de entrada analógica (para lectura de sensores) y salida digital (para controlar actuadores).
Actividades días 17 al 19	Evaluación del rendimiento del sistema bajo condiciones controladas.
Actividades día 20 y 21:	Fin de semana.
Actividades día 22 al 24:	Pruebas experimentales en el sistema implementado bajo diferentes escenarios para medir su adaptabilidad.
Actividades día 25:	Configuración de archivos y bases de datos para almacenar información del biorreactor.
Actividades día 26:	Elaboración de informes con gráficos del rendimiento del biorreactor.
Actividades día 27 y 28:	Fin de semana.
Actividades día 29:	Presentación formal a los investigadores de HOGENT y ESPOL, y retroalimentación.
Actividades día 30: (Retorno al país)	Salida de Bruselas y llegada a Ecuador. Nota: La salida desde Bruselas fue a las 19:40.

ACUERDOS, COMPROMISOS Y LOGROS CONCRETOS

Cumplir con una publicación indexada en Scopus o WoS con filiación ESPOL y con colaboración internacional en una revista o memoria de congreso, la misma que podrá ser parte o no de las requeridas en su programa de maestría académica con trayectoria de investigación o de doctorado de la ESPOL.
Implementación de un sistema de adquisición de datos en biorreactores para la valorización de aguas residuales agroindustriales dentro del laboratorio de Procesamiento de Agua y Sedimentos en ESPOL.
Fortalecer la cooperación académica con investigadores especializados en control de procesos ambientales, abriendo la posibilidad de futuras colaboraciones en el desarrollo de tecnologías innovadoras para el tratamiento de efluentes.
Presentación asociada a sus experiencias durante la estancia, la que será coordinada con el Decanato de Investigación y la Unidad Académica correspondiente, para lo cual deberá firmar el Acta de compromiso que le facilitará el Decanato de Investigación.

OTRAS OBSERVACIONES

Como técnico de investigación en FCNM, participo en el proyecto "Valorización de Aguas Residuales Agroindustriales para la Producción de Biosurfactantes: Un enfoque para Mitigar la Contaminación por Tensioactivos" con código ESPOL: FCNM 008-2024-T. En este contexto,
--



la estancia me permitió capacitarme en el uso del software LabVIEW para la adquisición y procesamiento de datos en biorreactores, incluyendo la configuración de sensores para la medición de parámetros con equipos que no existen en ESPOL. Además, se tiene proyectado implementar un sistema de adquisición de datos para la visualización en tiempo real de variables operativas de biorreactores con enfoque a la revalorización de aguas residuales agroindustriales que normalmente son desechadas sin considerar su potencial reúso.

Atentamente,

Jennifer Stefanya Zambrano Aranea
Técnica de Investigación I
(C.I.) 0928620483



Estancia de Investigación

LabVIEW para control y adquisición de datos en biorreactores

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Maestría en Ciencias de la Ingeniería
para la Gestión de Recursos Hídricos,
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes de Gante (HOGENT), Centro de Investigación
en Salud y Tecnología del Agua.

INFORME

Elaborado por:
Ing. Jennifer Zambrano



I. Introducción

La estancia de investigación en la Universidad HOGENT tiene como objetivo el entrenamiento en biorreactores para la valorización de aguas residuales, con enfoque en la automatización, control y adquisición de datos. Esto contribuye al diseño de un sistema optimizado de control en biorreactores, que será implementado en el laboratorio de Procesamiento de Agua y Sedimentos de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas – FCNM. Como técnico de investigación de FCNM, participo en el proyecto "Valorización de Aguas Residuales Agroindustriales para la Producción de Biosurfactantes: Un enfoque para Mitigar la Contaminación por Tensioactivos" con código ESPOL: FCNM 008-2024-T. En este contexto, durante la estancia me capacite en el uso del software LabVIEW para la adquisición y procesamiento de datos en biorreactores, incluyendo la configuración de sensores para la medición de parámetros fisicoquímicos.

Además, el sistema de adquisición de datos se empleará para la recopilación, análisis y visualización en tiempo real de variables operativas de biorreactores con enfoque a la revalorización de aguas residuales agroindustriales que normalmente son desechadas sin considerar su potencial reúso. Los resultados obtenidos contribuirán a la redacción y publicación de un artículo científico afiliado a la Escuela Superior Politécnica del Litoral en colaboración con entidades especializadas en el área de biotecnología como parte de mi trabajo de titulación de la maestría en Ciencias de la Ingeniería para la Gestión de Recursos Hídricos de FCNM.

LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es una plataforma de programación gráfica desarrollada por National Instruments, usada principalmente para adquisición de datos, automatización de instrumentos, y control de procesos. En lugar de escribir código como en Python o C, dibujas diagramas de flujo usando conexiones lógicas entre bloques.

DAQ USB

Para lograr una conexión entre el entorno físico y el entorno virtual de LabVIEW, se utilizan dispositivos especiales llamados **módulos de adquisición de datos** (DAQ, por sus siglas en inglés). Un ejemplo de estos dispositivos es el modelo Cole-Parmer® 18200-00, un módulo basado en USB que permite enviar y recibir señales eléctricas desde la computadora hacia el sistema físico y viceversa.

DiaLog DACb

El módulo DiaLog DACb tiene **entradas analógicas** diseñadas para leer estas señales de corriente (mA). Se conecta al sensor mediante cables, y luego a la DAQ. El DiaLog DACb recibe la señal de 4–20 mA desde el sensor y LabVIEW puede interpretar esa señal como un valor de pH o de Oxígeno Disuelto en tiempo real.



Figura 1. Controlado para la medición continua y control de parámetro de análisis de líquidos.

Cada sensor puede tener ligeras variaciones dependiendo de su estado, la temperatura del medio, o la marca. Por eso es necesario hacer una calibración, que consiste en:

- Asociar valores conocidos de pH o OD (medidos con patrones o soluciones estándar) con la señal en mA que entrega el sensor.
- Con eso se genera una ecuación de conversión, que LabVIEW puede aplicar para traducir automáticamente los mA en valores reales y confiables.

Reactor SBR

Un SBR (Sequencing Batch Reactor) es un tipo de biorreactor para el tratamiento de aguas residuales y/o lodos activados que trabaja en ciclos. A diferencia de los sistemas continuos, el SBR realiza las etapas de tratamiento en un solo tanque, de forma secuencial:

- Llenado
- Reacción (aireación)
- Desnitrificación
- Sedimentación
- Descarga

Durante estas fases, ocurren procesos biológicos que eliminan contaminantes orgánicos y nutrientes, y es fundamental monitorear el estado del agua en tiempo real para controlar el proceso eficientemente.

II. Metodología

1. Diseñar un VI que represente las fases del reactor SBR:

Llenado → Aireación → Desnitrificación → Sedimentación → Descarga

Cada fase será temporizada por el usuario mediante controles numéricos.

Incluir un LED indicador por fase, activado solo cuando esa fase está en curso.



Usar un botón "START" para iniciar el ciclo y un botón "STOP" para finalizar.
Configurar el ciclo como bucle repetitivo (While Loop) hasta que se presione "STOP".

2. Calibración de sensores de pH y OD con DiaLog

Conectar sensores de pH y oxígeno disuelto al módulo DiaLog.
Aplicar dos puntos de calibración conocidos (por ejemplo, 4 y 7 para pH; 0 y saturación para OD).
Registrar las lecturas en mA y asociarlas con sus valores reales.
Obtener las ecuaciones de la recta ($y = mx + b$) para cada sensor mediante regresión lineal o ajuste manual.

3. Verificación y configuración del DAQ

Instalar el software InstaCal
Verificar si el módulo DAQ está calibrado
Determinar las conexiones físicas cuando se configuran todas las **entradas analógicas**

Para el sensor de pH se conectó de la siguiente forma:

Señal positiva → CH0 IN HI

Señal de referencia → CH0 IN LO

Para el sensor de Oxígeno Disuelto (OD) se conectó de la siguiente forma:

Señal positiva → CH1 IN HI

Señal de referencia → CH1 IN LO

En este sistema de automatización para un reactor SBR, se utilizaron los pines digitales A0 y A1 como **salidas digitales**, conectados al módulo DAQ y asociados a dispositivos de control externos. Estos pines están conectados a un módulo Finder, que es un relé electromecánico. Este tipo de relé permite que una pequeña señal digital de 5 V proveniente del DAQ (por ejemplo, una señal en A0 = 1) active una carga más grande, como una bomba o un compresor, usando una fuente de alimentación externa. El pin GND (pin 40) está conectado como referencia común para cerrar el circuito.

Además, se utilizó una fuente de alimentación MDR-40-5 proporciona 5 V DC, asegurando que los dispositivos de bajo voltaje (como los sensores y el DAQ) reciban la alimentación adecuada. El LED "DC OK" asegura que todo esté funcionando correctamente.

4. Registro de datos

Crear una rutina en LabVIEW en el mismo VI que guarde los datos de pH, OD, fase actual y tiempo en un archivo CSV cada cierto intervalo.

Permitir al usuario elegir el nombre del archivo y la carpeta de destino desde el panel de control.

Añadir un control para que el usuario decida cuantos segundos se toman las mediciones de los sensores y al mismo tiempo se guarden en el CSV considerando la fecha y la hora.

5. Integración del sistema

Conectar el DiaLog al DAQ, y este último a la PC vía USB.

Configurar LabVIEW para adquirir datos desde los canales AI del DAQ (configurar canal y escala).

Verificar en tiempo real que las lecturas de los sensores ya se visualizan correctamente en el VI.

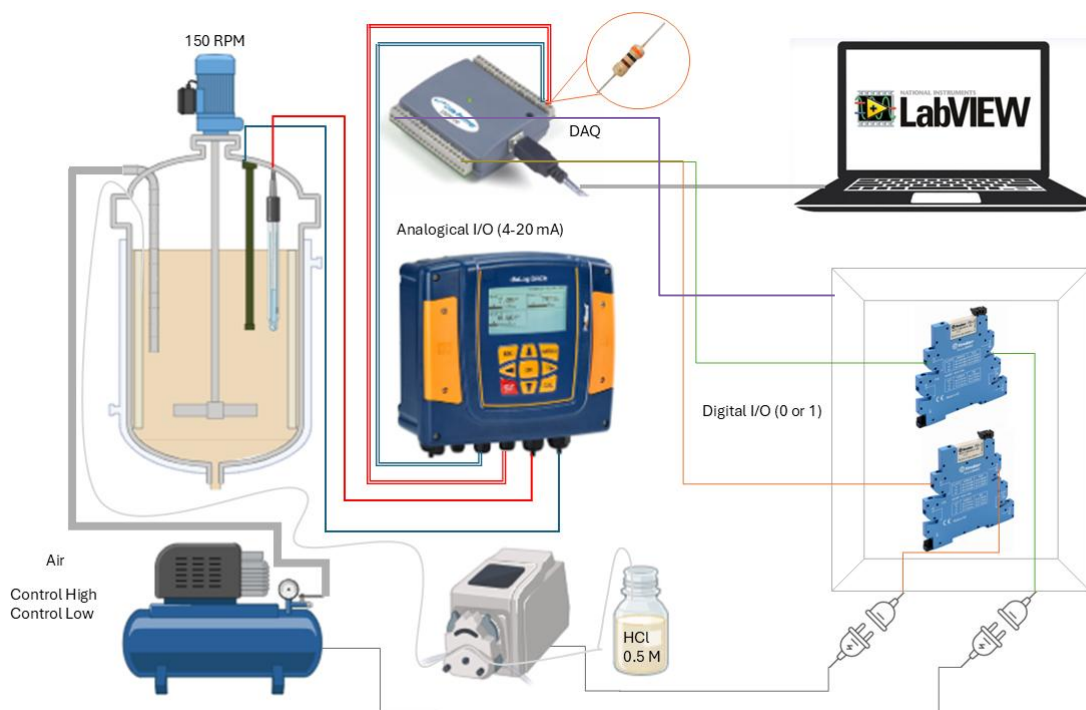


Figura 2. Diagrama del sistema de automatización y control de datos de un biorreactor.

6. Corridas experimentales

Con el sistema automatizado, realizar corridas reales:

Variar tiempos de fase, condiciones de setpoint de OD y pH.

Observar respuestas del sistema y registrar datos.

Analizar los resultados con base en los CSV generados para evaluar eficiencia y estabilidad del programa.

III. Resultados

El sistema de control, automatización y adquisición de datos fue implementado con equipos especializados que no están disponibles actualmente en ESPOL. Se realizaron pruebas con lodos activados, controlando de manera precisa las condiciones del proceso y registrando los datos necesarios para el análisis. Antes de iniciar los experimentos (Test A y B), se preparó el lodo mediante la adición de 4 gramos de glucosa. Esta glucosa actuó como una fuente rápida de energía para las bacterias, ayudando a activarlas y asegurar que estuvieran metabólicamente activas antes de comenzar los ensayos. Esta etapa de acondicionamiento permitió que las pruebas se iniciaran con una biomasa más estable y activa con el fin de controlar los niveles de oxígeno y el pH.

1. Tet A

Para evitar que el pH sobrepase los límites superiores recomendados para la actividad biológica, se empleó una bomba peristáltica que dosificaba ácido clorhídrico 0.5 M. Esta bomba se activaba durante breves intervalos de tiempo si el sistema detectaba un valor de pH fuera del rango establecido. Este mecanismo de control permitió mantener condiciones estables para el desarrollo de las pruebas, con valores mínimos de pH que no descendieron por debajo de 7.4.

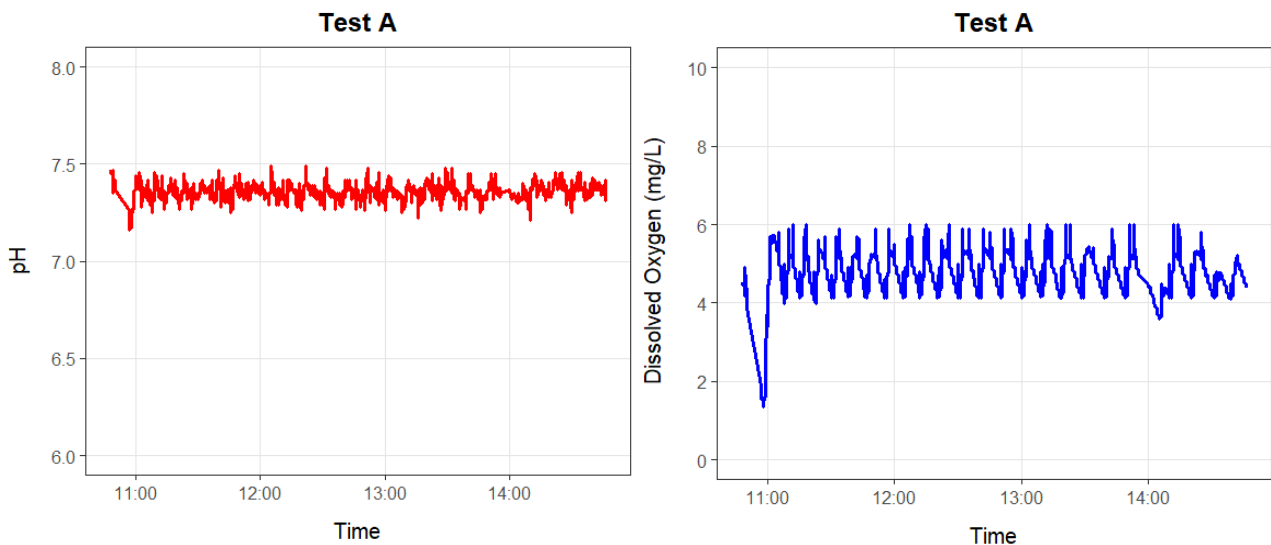


Figura 3. Gráfico de la adquisición de datos de pH para la corrida experimental del Test A. (Derecha). Gráfico de la adquisición de datos de Oxígeno Disuelto para la corrida experimental del Test A. (Izquierda)

La prueba A se llevó a cabo durante un periodo de tres horas, con el sistema configurado para mantener el oxígeno disuelto dentro de un rango definido por el usuario (valores entre 4 y 6 mg/L).

En la Figura 3 se observa que, al inicio del experimento, el nivel de oxígeno presenta una caída pronunciada. Este descenso coincide con el momento en que se añadió la glucosa al reactor, lo cual provocó una activación inmediata de las bacterias presentes en el lodo activado. Como resultado, el consumo de oxígeno aumentó rápidamente, reflejando la intensa actividad metabólica inducida por el sustrato biodegradable. Posteriormente, los niveles de oxígeno se estabilizan dentro del rango establecido, lo cual fue posible gracias al sistema automatizado que activaba o desactivaba la bomba de aireación en función de los límites superior e inferior programados por el usuario.

Tabla 1. Resultados de las mediciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO o COD por sus siglas en ingles)

Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Value (mg/L)
Initial	4750
1 hour	5650
2 h y 30 min	4125

Durante el desarrollo del ensayo, se realizó un seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para evaluar la dinámica del consumo de materia orgánica en el sistema. Inicialmente, la DQO se encontraba en 4750 mg/L. Una hora después del inicio del experimento, se registró un aumento hasta 5650 mg/L, lo que sugiere que la adición de glucosa incrementó temporalmente la carga orgánica disponible en el medio. Sin embargo, tras dos horas y treinta minutos, la DQO disminuyó a 4125 mg/L, evidenciando una actividad microbiana efectiva en la degradación de la materia orgánica presente. Esta reducción indica que el sistema respondió favorablemente a la fase de aireación, promoviendo la oxidación del sustrato añadido.

2. Test B

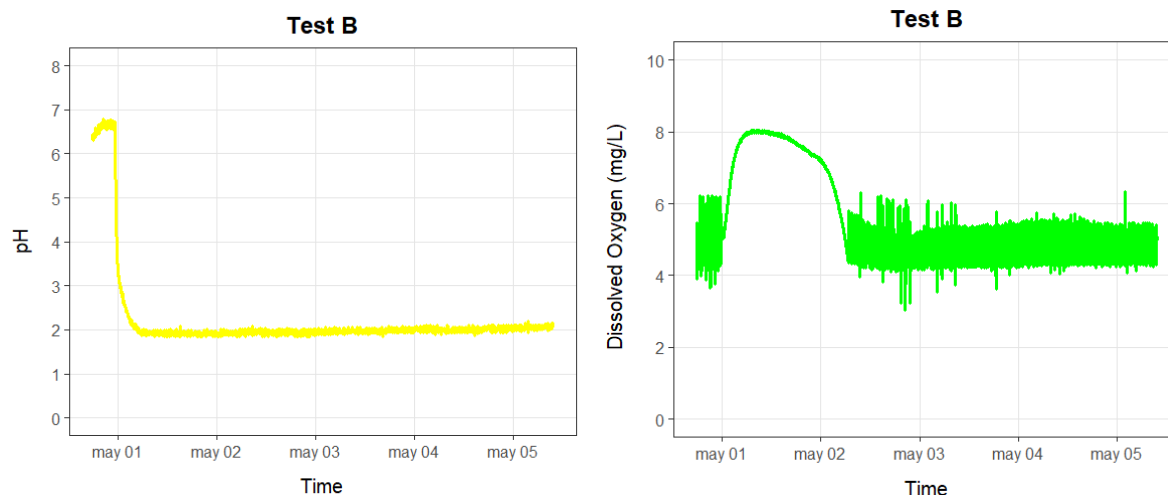


Figura 4. Gráfico de la adquisición de datos de pH para la corrida experimental del Test B. (Derecha). Gráfico de la adquisición de datos de Oxígeno Disuelto para la corrida experimental del Test B. (Izquierda)

En el Test B se evaluó el desempeño del sistema de automatización durante un período prolongado de cuatro días, con el objetivo de verificar su estabilidad y funcionamiento continuo. Sin embargo, se presentaron algunas inconsistencias operativas. Entre el día 1 y el día 2 se registró un incremento inesperado en los niveles de oxígeno disuelto, alcanzando un pico de hasta 8 mg/L. Este aumento se debió a que la bomba de aireación



no se detuvo cuando debía, lo cual indica que el programa no logró controlar adecuadamente el parámetro en ese momento. De manera similar, en ese mismo lapso se detectó una falla en la activación de la bomba peristáltica de ácido clorhídrico (HCl), lo que provocó que el pH se mantuviera fuera del rango establecido, estabilizándose alrededor de 9 y agotando toda la solución ácida preparada.

El origen de ambos errores se rastreó hasta un problema en las salidas analógicas que controlaban las bombas. Una vez identificado el fallo en el entorno del VI (Virtual Instrument) de LabVIEW, se procedió a corregir el código de control. Tras estas modificaciones, el sistema logró operar de manera estable y eficiente durante el resto del experimento.

IV. Conclusiones

- El sistema automatizado de control y adquisición de datos desarrollado con equipos especializados demostró ser funcional para operar un reactor biológico tipo SBR, permitiendo el monitoreo en tiempo real de parámetros esenciales como oxígeno disuelto y pH. Su implementación facilitó la activación y seguimiento del comportamiento de los lodos activados bajo distintas condiciones de operación.
- Los experimentos permitieron observar respuestas biológicas coherentes con la adición de sustratos, como la disminución inicial del oxígeno disuelto por consumo bacteriano y la posterior tendencia del pH a la alcalinización, así como también permitieron identificar y corregir errores en el código y configuración de hardware que afectan la estabilidad a largo plazo del sistema.
- La prueba extendida de cuatro días permitió identificar y corregir errores críticos en la lógica del VI, lo cual fue fundamental para mejorar la estabilidad del sistema y asegurar un funcionamiento confiable en futuras operaciones prolongadas en biorreactores con aplicaciones en revalorización de aguas residuales de tipo agroindustrial.

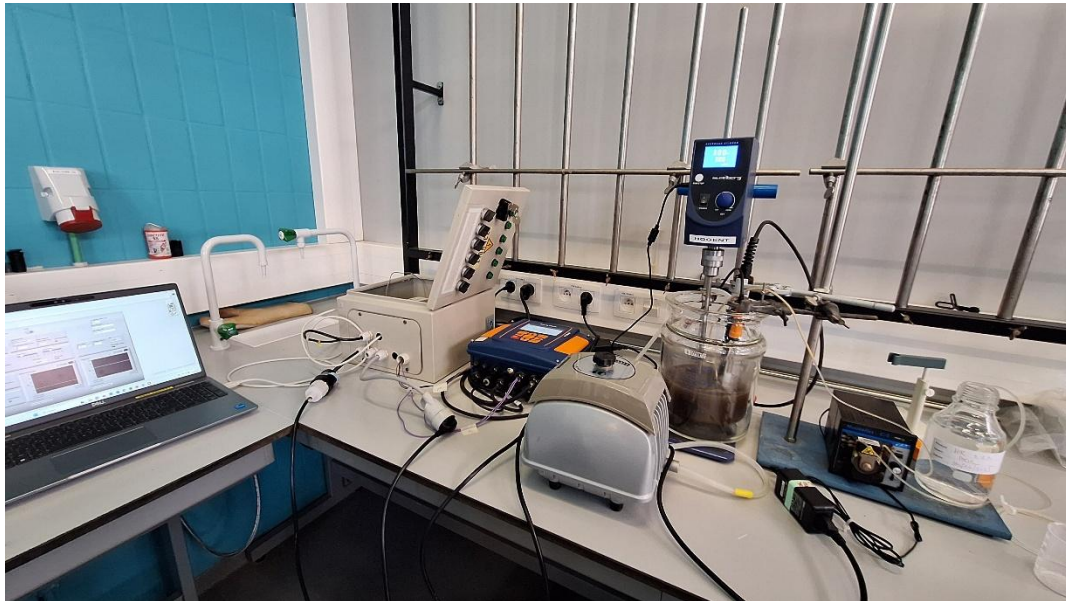
V. Referencias

National Instruments. (2013). LabVIEW 2013 Help. National Instruments Corporation. <https://www.ni.com/documentation/en/labview/latest/>

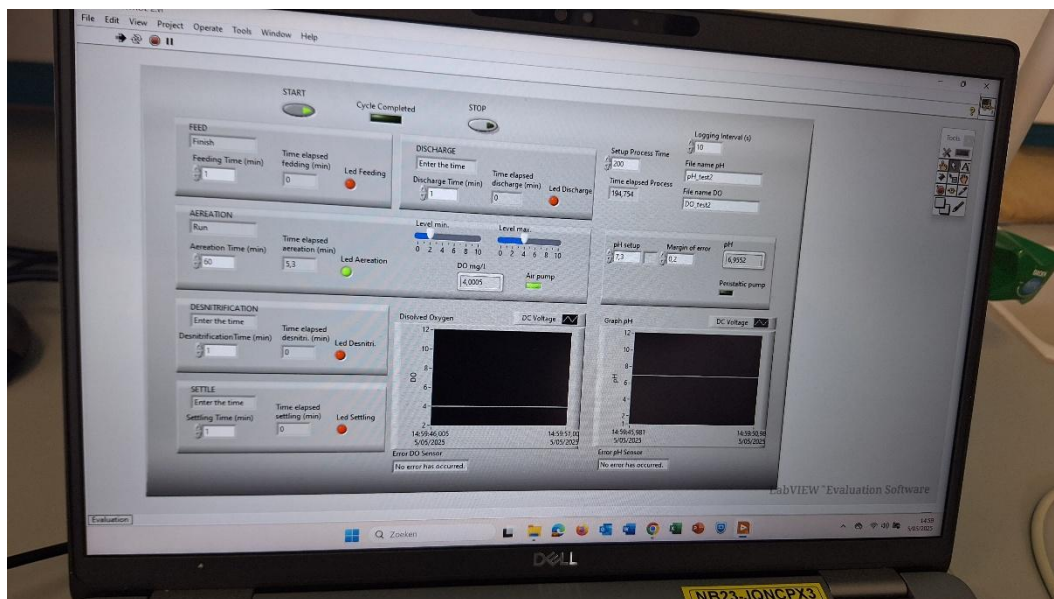
Cole-Parmer Instrument Company. (2020). Data Acquisition System Instruction Manual. Cole-Parmer Instrument Company, LLC. <https://www.coleparmer.com>

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse (4th ed.). McGraw-Hill.

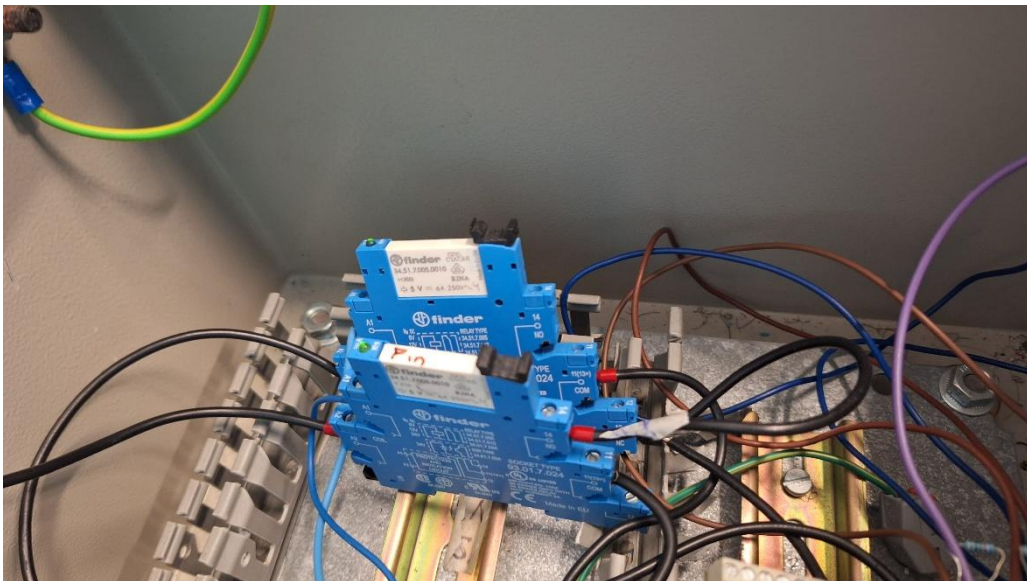
VI. Anexos



Anexo 1. Vista panorámica de todo el sistema de control, automatización y adquisición de datos armado.



Anexo 2. Panel frontal en LabView visualizado como un panel de control para todo el proceso del reactor SBR.



Anexo 3. Relés electromecánicos de salidas digitales para encender y apagar la bomba de aireación y la bomba peristáltica para el control de pH.



Anexo 4. Grupo de trabajo en HOGENT durante la estancia de investigación.