

Low cost SCADA for a laboratory-scale bioreactor

*Original*

Low cost SCADA for a laboratory-scale bioreactor / Faedo, N., Lucero, M., Mazzone, V., Suarez, M., Rojas, N.L.. - (2015). (2015 Workshop on Information Processing and Control (RPIC) ) [10.1109/rpic.2015.7497090].

*Availability:*

This version is available at: 11583/2988066 since: 2024-04-24T11:33:17Z

*Publisher:*

2015 Workshop on Information Processing and Control (RPIC)

*Published*

DOI:10.1109/rpic.2015.7497090

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/319469769>

# SCADA de bajo costo para un biorreactor de laboratorio

Conference Paper · January 2017

---

CITATIONS

0

READS

827

5 authors, including:



**Nicolás Faedo**

Politecnico di Torino

60 PUBLICATIONS 578 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Wave energy control systems [View project](#)



Towards Data-Driven and Data-Based Optimal Control of Wave Energy Systems [View project](#)

## SCADA de bajo costo para un biorreactor de laboratorio

Nicolás E. Faedo<sup>†</sup>, Matias Lucero<sup>†</sup>, Virginia Mazzone<sup>†</sup>, Mariana Suarez<sup>†</sup>, y Natalia Lorena Rojas<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>IACI, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Buenos Aires, Argentina.  
nfaedo@unq.edu.ar

<sup>‡</sup>IMBA, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Buenos Aires, Argentina.  
lrojas@unq.edu.ar

**Resumen**— Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema SCADA (Supervisory, Control And Data Acquisition), realizado íntegramente con herramientas de software y hardware libre, para un biorreactor NBS BioFlo III, de la Universidad Nacional de Quilmes.

El diseño y desarrollo del SCADA BioFlo III se basa en un servidor web conectado con el equipo. Dicho servidor contiene bases de datos que registran todas las variables del proceso, disponibles desde una interfaz gráfica programada en lenguaje web. Tal interfaz es accesible desde cualquier dispositivo con conexión a Internet y los certificados de ingreso a la red VPN de la Universidad, lo cual hace de este sistema un SCADA multiplataforma en todos sus sentidos.

Para actuar físicamente sobre el equipo, se utiliza una plataforma Arduino, que se comunica continuamente (bajo un protocolo de diseño específico) con el servidor mediante una interfaz de comunicación programada en Python. La interfaz gráfica interactúa directamente con la base de datos, que es leída por el mismo algoritmo de interfaz de comunicación.

**Palabras Clave**— SCADA, biorreactor, biotecnología, automatización, GNU

### 1. INTRODUCCIÓN

La biotecnología se refiere a toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de procesos o productos para usos específicos [1].

Un proyecto I+D de la Universidad Nacional de Quilmes, estudia la producción de PHA (polihidroxialcanoatos) a partir del glicerol residual obtenido de industrias de biodiesel nacionales como sustrato [2]. Para ello, se utilizan herramientas de modelización como la simulación y estimación de variables que permiten predecir el comportamiento dinámico del proceso [3].

Este proceso dura aproximadamente 48 hs, y para el estudio se toman muestras en forma manual y a intervalos irregulares, tanto para las muestras extraídas del cultivo como las mediciones de las variables medioambientales que intervienen. De aquí se desprende la necesidad de contar con un sistema que permita monitorear y almacenar las variables del proceso *on-line*, a fin de evitar perio-

dos largos sin evaluación del mismo (como ocurre por las noches). Contar con pocas muestras de las variables hace más dificultosa la tarea de modelado y limita la posibilidad de utilizar herramientas de identificación de sistemas para la obtención de parámetros relevantes del modelo.

### 2. SCADA

SCADA es un acrónimo para *Supervisory Control and Data Acquisition* (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Los sistemas SCADA se utilizan para monitorear y controlar equipos y plantas industriales de todo tipo. Estos sistemas abarcan desde la transferencia de datos entre un servidor central SCADA y un número finito de Unidades de Accesos Remoto (*Remote Terminal Units - RTU*), hasta la comunicación con los controladores activos en planta (Usualmente *PLC's: Programmable Logic Controller*). Un sistema SCADA reúne información de proceso, transfiere al servidor central y proporciona datos de relevancia hacia las RTU [4].

#### 2.1. Sistema SCADA Típico

Un sistema SCADA típico consiste en:

- Uno o más dispositivos de interfaz de datos de campo, usualmente RTU's o PLC's.
- Un sistema de comunicaciones utilizado para transferir la información desde los dispositivos de campo, hacia el servidor central del SCADA.
- Un servidor central (*Master Terminal Unit*).
- Software especializado, además de una interfaz humano-máquina (*HMI*).

#### 2.2. Arquitecturas SCADA

Existen actualmente tres arquitecturas de sistemas SCADA: Arquitectura Monolítica (Primera Generación); Arquitectura Distribuida (Segunda Generación); y Arquitectura en Red (Tercera Generación). En este trabajo, la arquitectura utilizada es de Tercera Generación. Es en esencia una arquitectura distribuída (utilización de redes LAN), con una diferencia clave: el sistema puede esparcirse a través de más de una red LAN, rompiendo las barreras geográficas. Dicha característica posibilita la coordinación de varias arquitecturas distribuidas actuando en

paralelo, aumentando considerablemente el rendimiento del sistema. El mayor avance de esta tercera generación de sistemas SCADA es la utilización de protocolos WAN, como por ejemplo IP (*Internet Protocol*), para la comunicación entre el servidor central y el equipo de comunicaciones.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Los biorreactores (conocidos también como fermentadores) son equipos utilizados en laboratorios o de manera industrial para el cultivo de microorganismos (bacterias, levaduras, hongos y otros). A su vez, un biorreactor experimental reproduce en pequeña escala una amplia variedad de sistemas que van desde lagos hasta plantas de tratamiento de aguas, pasando por numerosas aplicaciones productivas.

#### 3.1. Características generales

Particularmente, el biorreactor a utilizar en el marco de este trabajo es el *NBS (New Brunswick Scientific) BioFlo III*, que se muestra en la Fig. 1. Éste puede ser utilizado en cultivos por lotes, alimentado o de forma continua. Incorpora controles de pH, oxígeno disuelto, agitación, temperatura, alimentación de nutriente y nivel de espuma. Estos equipos se utilizan usualmente en conjunto con un analizador de gases. En este caso, el modelo existente en el laboratorio es el *Servomex Gas Analyzer 1100*.



Figura 1: NBS BioFlo III

La consola del biorreactor consta de un panel frontal, dos laterales y uno trasero. El panel lateral derecho nuclea las llaves que manipulan las bombas peristálticas. El panel frontal consta de:

1. *Display*: exclusivamente dedicado a la interfaz con el usuario (BCD 7 segmentos).
2. *Llaves selectoras*: Son dos llaves independientes. Cada una cumple una función específica y se utilizan a la hora de configurar el equipo.
  - *Modo (Mode)*: Permite seleccionar entre cuatro posibilidades de configuración.

- *Control (Control)*: Biorreactor en modo control.
- *Referencia (Set Point)*: Permite establecer el valor de referencia para todas las variables controladas.
- *Fondo de Escala (Span)*: Ajuste del fondo de escala.
- *Cero (Zero)*: Ajuste del cero.
- *Selector (Selector)*: Selección de variable específica a configurar (*Agitación, Temperatura, Nutriente, Oxígeno Disuelto y pH*).

3. *Llave Agitación*: Encendido/Apagado del motor agitador.

4. *Pulsadores*:

- Incremento/Decremento.
- Control de D.O. (Oxígeno Disuelto) Activo.

### 4. DESARROLLO DEL SISTEMA SCADA

Actualmente, los usuarios del equipo se encuentran satisfechos con el desempeño de los controles propios del biorreactor NBS BioFlo III y están acostumbrados a su forma de operarlo. Por este motivo, se busca una forma de implementación del sistema que no modifique la lógica interna del equipo y sea lo menos invasiva posible, pero que permita una actuación total sobre el mismo.

#### 4.1. Modificaciones al esquema original

Se realizan modificaciones en la configuración eléctrica original del equipo con el fin de poder obtener registro de las variables de proceso y capacidad de manipulación de los elementos que conforman la consola del equipo mediante el sistema SCADA desarrollado. Dichas modificaciones le permiten al usuario utilizar el equipo en dos modos de funcionamiento distintos: en el primero de ellos denominado *Local*, la operación del biorreactor se realiza desde la consola del mismo, como fue diseñado originalmente, permitiendo de esta forma un proceso de adaptación lógico para los usuarios. En el segundo modo, llamado *Remoto*, el equipo es operado íntegramente desde la interfaz gráfica desarrollada.

Los elementos adicionales incorporados al biorreactor son:

- *Microcontrolador Arduino Mega 2560*: Se encarga de la administración de la nueva lógica de modos implementada y la comunicación con el servidor del sistema SCADA.
- *Plaqueta de actuación de bombas*: Recibe las señales de marcha del microcontrolador Arduino o de las llaves de función de las bombas de acuerdo al modo de funcionamiento.
- *Módulo de 4 relés*: Se utiliza para disponer del apagado de emergencia y de una señal que determina cuando el equipo se encuentra encendido.

Para obtener registro de las variables del proceso, se conecta el puerto de grabación de datos del BioFlo III en paralelo con las entradas analógicas del microprocesador. Por otra parte, se realiza una conexión de las salidas 4-20 mA disponibles en el analizador de gases Servomex.

Con respecto a la manipulación de la consola frontal del equipo, se dispuso el microcontrolador en una configuración tipo serie, es decir, entre las llaves y pulsadores, y la plaqueta de display. De este modo, se simulan las actuaciones que realiza el operador en el equipo, tales como girar una llave rotativa o apretar un pulsador, mediante pulsos generados con el Arduino. Cuando el sistema funciona en modo *Local* el controlador lee los estados de las llaves y pulsadores conectados en sus entradas digitales (configuradas con resistencias *pull up's* internas) y los copia en las salidas que se conectan al display. En modo de funcionamiento *Remoto*, la lectura de los elementos de la consola frontal del equipo es ignorada y las salidas se escriben en función a mensajes de comunicación recibidos por el servidor.

Para la actuación de bombas, se realiza una plaqueta específica para cumplir con dos objetivos determinados. El primero de ellos, poder bloquear o no las señales provenientes de las llaves de funcionamiento de las bombas hacia el pin de marcha correspondiente de la plaqueta Driver Motor AC. El segundo objetivo consiste en la capacidad de ordenar marcha a cada bomba cuando las señales de las llaves se encuentran bloqueadas, estableciendo un nivel lógico bajo en el pin adecuado.

#### 4.2. Protocolo de Comunicación

Cada mensaje dentro del protocolo, está conformado por un encabezado fijo que determina el tipo de mensaje, y una serie de parámetros o datos, que varían según el mismo. A los mensajes enviados por el servidor se los denomina *Comandos*, debido a que consisten en órdenes a ser ejecutadas por el biorreactor; y a los mensajes enviados por el microprocesador Arduino integrado al biorreactor se los llama *Estados*, ya que informan al sistema sobre los cambios ocurridos.

#### 4.3. Interfaz Microcontrolador - Servidor Central

Para la interfaz entre el microcontrolador y el servidor central se utiliza como lenguaje de programación *Python*. Basándose siempre en el concepto de Software Libre, Python fue seleccionado por su característica OpenSource, además de ser multiparadigma y multiplataforma. El programa de interfaz es un bucle (loop) infinito de lectura y ejecución de tareas continuas. Se ocupa tanto de la lectura como de la escritura del puerto serie, además de la actualización de los valores en cada tabla de la base de datos, la toma de mediciones y clasificación de estados de alarma (que se detallan en la sección interfaz gráfica).

#### 4.4. Servidor WEB

El diseño completo del sistema SCADA BioFlo III se basa en la ejecución de los programas correspondientes sobre un servidor central web. Para tal fin el sistema de

infraestructura de internet elegido es *LAMP*. *LAMP* es el acrónimo de *Linux Apache MySQL PHP* ([5]):

- Linux: sistema operativo instalado en el servidor (Lubuntu (*Low Ubuntu*) 14.04 LTS).
- Apache: servidor web HTTP de código abierto (versión *Apache 2.2.29*).
- MySQL: es un sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario, de licencia libre (versión 5.6.23).
- PHP: lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor. Forma parte del software libre bajo licencia GNU (versión *PHP 5.6.6*).

El servidor web se ejecuta en el ordenador dedicado, esperando peticiones por parte de un cliente (que en este caso, accederá través de un túnel VPN a la red privada de la Universidad). Dicho servidor responde mediante una página web que se exhibe en el navegador. De tal forma, la transferencia de datos se divide en dos grandes grupos:

- Aplicaciones del lado del cliente (*client-side*): Aquí entra en juego el lenguaje *JavaScript*. El servidor proporciona el código y el cliente (mediante el navegador) las ejecuta.
- Aplicaciones en el lado del servidor (*server-side*): el servidor web ejecuta la aplicación; ésta, una vez ejecutada, genera cierto código HTML; el servidor toma este código recién creado y lo envía al cliente por medio del protocolo HTTP. Para las aplicaciones del lado del servidor, los lenguajes utilizados fueron *PHP* y *Python*.

La coordinación entre la interfaz gráfica y los programas de Interfaz Microcontrolador - Servidor se realiza a través de la lecto-escritura sobre una base de datos en *MySQL*. Tanto para informar valores de mediciones, como para enviar un comando de encendido a una bomba peristáltica, toda la información pasa primero por esta base de datos. De tal forma, la programación de cada capa del sistema se pudo realizar de forma independiente, teniendo en cuenta únicamente las coordinaciones necesarias con la base de datos.

Bajo este principio, surge la necesidad de utilizar una herramienta para la gestión de la base de datos del sistema SCADA BioFlo III. Dicha tarea se cumplirá través de *phpmyadmin*, que es una herramienta de software libre escrita en PHP, con el objetivo de manejar la administración de bases de datos en *MySQL* a través de la web.

#### 4.5. Interfaz gráfica

El desarrollo completo de la interfaz gráfica, se realiza en lenguaje web, ejecutado sobre el servidor web Apache. Los lenguajes utilizados para cumplir dicha tarea fueron *Html*, *PHP* (Server-Side), *MySQL* y *JavaScript* (Client-Side). Las librerías utilizadas (todas con licencia GNU) fueron *jQuery*, *Bootstrap*, *Highcharts*, entre otras.

Una vez iniciada la sesión se puede acceder a las distintas partes de la interfaz gráfica. El sistema está compuesto por distintos elementos, algunos de ellos son comunes a todo el HMI y otros son particulares. A continuación se ofrece una descripción de cada uno de ellos:

- **Alarmero Secundario:** El sistema posee alarmas que se disparan al comparar un valor de medición de las variables del proceso con valores prefijados por el usuario. Quedan notificadas hasta 3 (tres) alarmas en esta sección.
- **Mensajero Secundario:** Este sector actúa notificando al usuario sobre los últimos cuatro eventos de relevancia ocurridos en el sistema SCADA.
- **Información de sesión:** Una vez iniciada la sesión aparece el nombre del usuario activo y la información de la hora actual. Pulsando la "x" que aparece en la esquina superior derecha se finaliza la sesión de usuario, volviendo nuevamente a la pantalla de bienvenida del sistema.
- **Barra de Navegación Principal:** A través de la misma se puede acceder a las pantallas principales del sistema: *Inicio*, *Gráficos*, *Tablas* y *Lotes*.
- **Espacio de trabajo:** Esta sección de la interfaz es la que varía dependiendo de qué opción de pantalla fue seleccionada mediante las barras de navegación (tanto principal, como secundaria).
- **Barra de Navegación Secundaria:** Permite navegar por las secciones de Alarmas, Mensajes, Configuración y Ayuda del HMI.

#### 4.5.1. Pantalla Inicio

La pantalla de Inicio es la principal del sistema. Ésta se desarrolló para monitorear el proceso en su totalidad y modificar condiciones del mismo. Dichas acciones pueden ser tales como cambiar valores de referencia de los controladores, cambiar el estado de funcionamiento de las bombas, activar o desactivar el agitador, entre otras.

El sistema posee dos modos de funcionamiento:

- **Local:** el equipo se opera en forma manual desde el panel de control ubicado en el frente del biorreactor Bioflo III y es el modo de funcionamiento por defecto del sistema al encender el equipo. El sistema SCADA en este caso solo muestra y registra la información de las variables del proceso y el estado de las bombas, agitador y control de oxígeno disuelto. Desde este modo el usuario *NO* podrá realizar ninguna acción sobre el equipo utilizando el sistema SCADA.
- **Remoto:** el equipo se opera íntegramente desde la interfaz SCADA y las acciones realizadas físicamente desde el equipo son ignoradas (excepto el encendido y apagado del mismo).

Los aspectos relacionados con alarmas, mensajes, gráficos, tablas y configuración funcionan de igual forma en ambos modos. La pantalla típica del sistema en modo local puede observarse en la Fig. 2.

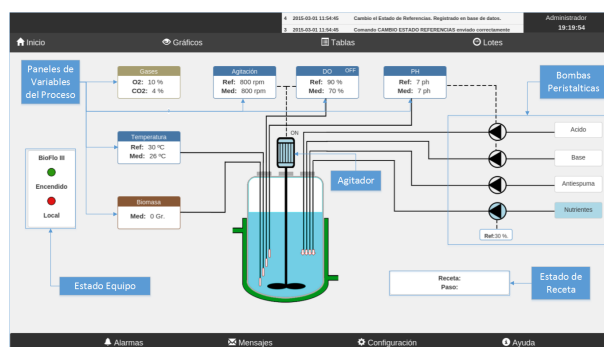


Figura 2: Pantalla de inicio en modo Local

Existen en la pantalla diversos objetos que permiten monitorear el estado actual del equipo y del proceso. A continuación se describen algunos de ellos:

- **Panes de Variables del Proceso:** En los mismos, puede observarse el valor de la última medición tomada por el sistema, junto con su correspondiente valor de referencia fijado. Existe un panel por cada variable del proceso involucrada en el biorreactor, además de un panel adicional que integra los valores de  $O_2$  y  $CO_2$  medidos por el analizador de gases.
- **Agitador:** Este objeto representa el estado del motor agitador. En caso de encontrarse activo, se visualiza en color celeste.
- **Bombas Peristálticas:** Existe una representación en pantalla por cada bomba peristáltica del equipo. Visualmente, al igual que el agitador, si una bomba se encuentra actualmente activa se observa en color celeste. Existe un caso particular para la bomba de Nutrientes, que además posee un pequeño panel que proporciona la información del valor de referencia fijado.
- **Estado de Receta:** Si se ha seleccionado alguna receta la misma se puede ver en este objeto, junto con su paso y estado actual. Dependiendo del estado de la misma se observa en diferentes colores: azul (en ejecución); verde (finalizada) y amarillo (pausada).
- **Estado del Equipo y Sistema:** Permite visualizar si el equipo se encuentra encendido o apagado, así como también el modo de funcionamiento del sistema (*Local/Remoto*). Pulsando este objeto se despliega una ventana por medio de la cual se puede cambiar el modo de funcionamiento del sistema.

En modo Remoto la pantalla Inicio es la misma que la de modo Local, excepto por una diferencia que es la incorporación del modo de funcionamiento de las bombas

en pantalla. Sin embargo, en este modo se pueden modificar los valores de referencia, el estado del agitador y el control de oxígeno disuelto, además de cambiar el modo de funcionamiento de las bombas.

En modo remoto también puede apagarse el equipo. Esta opción sólo debe utilizarse en caso de emergencia. Luego de su apagado en modo remoto, el equipo debe encenderse primero desde el sistema y luego físicamente por razones de seguridad.

#### 4.5.2. Pantalla Gráficos

Accediendo a la pantalla de Gráficos, inicialmente se encuentra una representación gráfica general que contiene todas las mediciones de todas las variables de proceso. Mediante el grupo de botones ubicado debajo del gráfico, el usuario puede observar las distintas variables de forma independiente junto con la evolución a través del tiempo de su valor de referencia.

También puede realizarse la exportación de cualquiera de los gráficos en distintos tipos de formatos de imagen (PNG, JPEG, PDF y SVG), pulsando en el botón de exportación.

#### 4.5.3. Pantalla Tablas

En esta pantalla se pueden observar los distintos valores de mediciones de las variables del proceso, los cambios en las referencias fijadas, y los estados activos o inactivos de las bombas y controles, todos en formato de tabla. Al acceder, puede observarse un menú desplegable donde el usuario puede seleccionar la tabla que desea mostrar.

Pulsando el botón Exportar, se puede realizar una exportación de los datos en distintos tipos de formatos (CSV, TXT, XLS, Word, PowerPoint, PNG, PDF).

En la tabla de Bombas y Controles un "1" representa que la bomba se puso en marcha o que el control está activo. Contrariamente un "0" indica que la bomba se detuvo o el control se encuentra desactivado.

#### 4.5.4. Pantalla Lotes

Una de las particularidades más útiles de un sistema SCADA es la utilización de recetas de proceso. Una receta de proceso es una secuencia de acciones determinadas por el usuario. En este caso particular, una secuencia de ejecución para el biorreactor. A continuación se especifican las características de la gestión por lotes del sistema SCADA BioFlo III.

La pantalla de Lotes (Fig. 3) presenta una división de las herramientas del sistema en varias secciones:

- **Controles:** Permiten cambiar el estado de ejecución de la receta actual: Ejecutar Receta, Pausar Receta, Cancelar Receta y Adelantar Paso
- **Nombre de la nueva receta:** Campo alfanumérico para introducir el nombre de la receta, en caso de querer salvar dicha secuencia.
- **Estados Actuales:** Tres etiquetas dinámicas: Receta Actual, Estado y Paso Actual.

- **Opciones:** Acceso a las funciones de interacción con las recetas almacenadas. Se diferencian tres botones: Buscar Archivo, Guardar Receta y Borrar Receta.
- **Diseño del paso:** Cada paso debe tener definidos valores de referencia para todas las variables y estados de todas las bombas peristálticas. Además, debe definirse un tiempo  $t$  durante el cual se ejecuta antes de pasar al siguiente paso (si existiera).

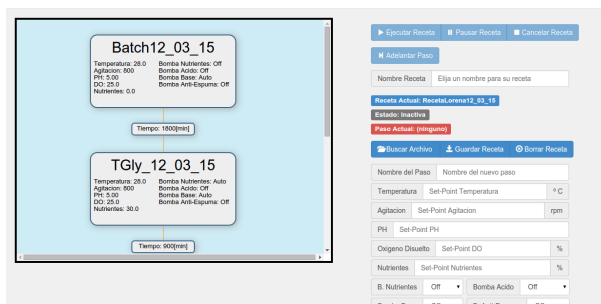


Figura 3: Pantalla principal sistema de gestión por lotes

El código asociado al sistema de recetas se realizó integradamente en *Python*, interactuando con la base de datos del sistema.

#### 4.5.5. Alarmas, Mensajes, Configuración y Ayuda

El sistema posee alarmas que se disparan al comparar un valor de medición de una variable de proceso o el cálculo de un totalizado de caudal, con valores prefijados por el usuario. Existen cuatro tipos de alarmas que se clasifican en dos conjuntos de prioridades:

- **Alarmas de Prioridad 1:** Representan las alarmas más importantes. Se disparan por una desviación grande del valor con respecto al que debería tener en condiciones normales de funcionamiento. El usuario puede establecer una acción para que se ejecute ante el disparo de la alarma, para preservar las condiciones de proceso.
- **Alarmas de Prioridad 2:** Representan alarmas que se disparan por una desviación del valor con respecto al que debería tener en condiciones normales de funcionamiento. No ejecutan una acción.

Una vez que el operador advierte que se produjo una alarma puede reconocerla desde la pantalla de *Alarmas*. De esta manera, dejará de mostrarse en el alarmero secundario. De todas formas, ésta ofrece al operador una lista completa con todos los eventos del proceso, independientemente de su condición de reconocimiento.

El usuario puede observar la totalidad de mensajes al operador provistos por el sistema durante el proceso en la pantalla *Mensajes*. Sirve como registro de todos los eventos ocurridos en el SCADA. Estos mensajes se generan como producto de la interacción entre la base de

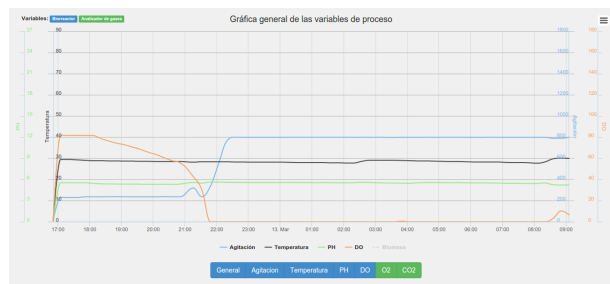


Figura 5: Análisis gráfica de todas las variables

datos y el equipo cuando, por ejemplo, el sistema envía un comando para que sea ejecutado, efectúa una toma de mediciones o dispara una alarma. Cualquier error en el sistema SCADA también se reporta a través de este medio.

## 5. RESULTADOS

En un experimento preliminar se lograron obtener datos de un cultivo batch alimentado, en el marco de una etapa de pruebas. Durante todo el proceso se registraron los datos de Oxígeno Disuelto (DO), realizando un muestreo de datos cada 20 segundos [2]. A partir de la Fig. 4 se puede observar cómo el SCADA BioFlo III cubre la totalidad del proceso en cuanto a los datos que se puedan registrar mediante los sensores y electrodos conectados al biorreactor.

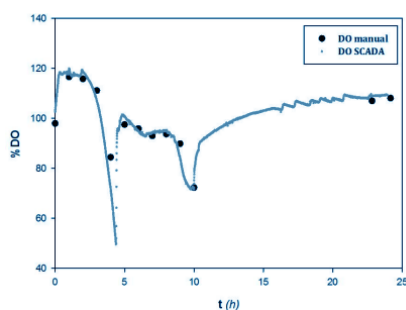


Figura 4: Datos manuales vs. datos SCADA BioFlo III

El experimento a detallar consta del lanzamiento de una receta de cuatro pasos, dos de los cuales pueden apreciarse en la Fig. 3. El usuario interactúa de forma remota a través del túnel VPN de la Universidad Nacional de Quilmes. El período de muestreo para la toma de mediciones es de 15 min.

Luego del inicio del sistema de gestión por lotes, el cultivo se mantuvo en las condiciones pautadas durante cuatro horas y media. Pasado ese tiempo, ocurrió un desperfecto técnico en el aireador externo (ajeno al biorreactor), provocando un descenso drástico en el valor de Oxígeno Disuelto en el cultivo, registrado por el sistema SCADA BioFlo III a las 21:48:10. El control de Oxígeno Disuelto actuó en consecuencia, elevando las *rpm* hasta

el valor establecido como máximo (800 *rpm*), como puede apreciarse en la Fig. 5. Dicha situación fue relevada por el sistema SCADA BioFlo III, disparando una alarma y desencadenando la acción preconfigurada: *Bomba de Nutrientes a estado OFF*. El envío del comando queda registrado en la base de datos a las 21:48:09. Además, el sistema envió un E-Mail al usuario, avisando del disparo de la alarma, justo después del suceso. Durante el resto del proceso, las variables mantuvieron los valores estables esperados. A la mañana del día siguiente, se reconectó la entrada de aire, aumentando el nivel del Oxígeno Disuelto. A las 09:08:36 del día 2, se apagó el equipo y se canceló la receta.

## 6. CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo e implementación del sistema SCADA BioFlo III, el equipo ahora es capaz de realizar experimentos de forma autónoma, registrando efectivamente todos los datos relevantes del proceso.

Entre los cambios más relevantes se citan: La toma de mediciones se realiza durante todo el proceso, obteniendo gráficos y tablas *on-line*, posibilitando además la exportación de dicha información a formatos de trabajo (Excel, PDF, OpenOffice entre otros). Se incorpora el encendido de motores (agitador, bombas) y cambio de referencias de todas las variables con conexión remota al equipo con control total, manteniendo también la posibilidad de interactuar de forma local. El diseño y flujo del experimento puede plantearse con anterioridad a través del Sistema de Gestión por Lotes, que puede ser controlado también de forma remota. Además, puede realizarse la evaluación de niveles críticos de las variables para el proceso utilizando el Sistema de Alarmas, con posibilidad de acciones pre-configurables ante situaciones críticas.

## REFERENCIAS

- [1] U. Nations, "Convention on biological diversity," *Use of terms. Artículo 2*, 1992.
- [2] M. Salemi, N. Rojas, and D. Ghiringhelli, "Empleo de recursos renovables para la producción de bioplásticos degradables," *3er Simposio Argentino de Procesos Biotecnológicos*, 2014.
- [3] V. Mazzone, M. Suarez, F. Santillan, F. Safar, and N. L. Rojas, "Estimacion de las tasas específicas de reaccion en un proceso de produccion de phb," *Congreso Latinoamericano de Control Automatico*, 2014.
- [4] N. C. System, "Supervisory control and data acquisition (scada) systems," Office of the Manager National Communications System, Tech. Rep., 2004.
- [5] "Lamp (linux, apache, mysql, php)," <http://searchenterpriselinix.techtarget.com/definition/LAMP>, acceso: 11-03-2015.