



AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES

Diseño, instalación y puesta en marcha del Sistema de Tratamiento de los Residuales Biológicos

Design, installation and commissioning of the Biological Waste Treatment System

Waldo Hernández Sánchez¹, Daniel Darias Zayas², Ronny O. Pacheco Portuondo³

- 1- Waldo Hernández Sánchez. Centro de Inmunología Molecular, Cuba. E-mail:
waldo@cim.sld.cu.
- 2- Daniel Darias Zayas. Centro de Inmunología Molecular, Cuba. E-mail:
danield@cim.sld.cu.
- 3- Ronny O. Pacheco Portuondo. Centro de Inmunología Molecular, Cuba. E-mail:
ronny@cim.sld.cu.

Resumen:

- **Problemática:** El Centro de Inmunología Molecular cuenta con una nueva instalación destinada a la investigación y desarrollo de nuevos productos biotecnológicos, procesos de donde se obtienen residuales acompañados de peligrosos virus y bacterias. La problemática presentada fue la ausencia de un sistema de tratamiento e inactivación biológica de estos residuales antes de su evacuación.
- **Objetivo(s):** El objetivo del trabajo fue diseñar, instalar y realizar la puesta en marcha de un sistema de tratamiento de residuales líquidos.
- **Metodología:** Se confeccionaron los diagramas de tuberías e instrumentación y los planos eléctricos junto a su correspondiente lista de elementos con las especificaciones técnicas según los estándares actualizados, solicitándose la importación de los elementos faltantes para la instalación del sistema. Luego la programación y/o configuración de los dispositivos que utilizan software para sus



funciones y finalmente la puesta en marcha del equipamiento velando por el correcto desempeño del sistema.

- **Resultados y discusión:** Como resultado del trabajo se diseñó desde cero un sistema totalmente automatizado que garantizaría un elevado nivel de seguridad y autonomía en las operaciones de tratamiento de los residuales con un know-how 100% propio; el sistema funciona con la calidad requerida bajo las normas y parámetros exigidos por las normas cubanas y representó un considerable ahorro económico para la empresa.
- **Conclusiones:** La instalación de este sistema contribuyó con el proceso de otorgamiento de la licencia de operación del edificio de investigaciones. Ecológica y socialmente asegura que los residuales sean inactivados antes de su evacuación final, manteniendo las buenas condiciones medioambientales y de salud de la población del municipio.

Abstract:

- **Problems:** *The Molecular Immunology Center has a new facility dedicated to the research and development of new biotechnological products, processes where residuals are obtained accompanied by dangerous viruses and bacteria. The problem presented was the absence of a system of treatment and biological inactivation of these residuals before their evacuation.*
- **Objective (s):** *The objective of the work was to design, install and carry out the start-up of a liquid waste treatment system.*
- **Methodology:** *The piping and instrumentation diagrams and the electrical drawings were prepared together with their corresponding list of elements with the technical specifications according to the updated standards, requesting the import of the missing elements for the installation of the system. Then the programming and / or configuration of the devices that use software for their functions and finally the start-up of the equipment ensuring the correct performance of the system.*
- **Results and discussion:** *As a result of the work, a fully automated system was designed from scratch that would guarantee a high level of safety and autonomy in*



waste treatment operations with 100% own know-how; the system works with the quality required under the norms and parameters required by Cuban standards and represented a considerable economic savings for the company.

- **Conclusions:** *The installation of this system contributed to the process of granting the operating license of the research building. Ecologically and socially ensures that the residuals are inactivated before their final evacuation, maintaining the good environmental and health conditions of the population of the municipality.*

Palabras Clave: Inactivación biológica; PLC; Automatización.

Keywords: *Biological inactivation; PLC; Automation*

1. Introducción

En el pasado, con el inicio de la revolución industrial, se incrementó considerablemente la generación de los diferentes tipos de residuales en el planeta y, con el tiempo, a medida que ha aumentado el desarrollo científico y tecnológico también lo ha hecho la cantidad y peligrosidad de sus desechos. Uno de los problemas asociados a todo desarrollo industrial es la incorporación a un cuerpo receptor natural (mar, ríos, lagos) de los residuos procedentes de los distintos procesos que se llevan a cabo en las industrias, mediando dicho receptor como portador pasivo de agentes infecciosos, transmitiendo enfermedades a través de la ingesta fundamentalmente.

En las últimas décadas, el conocimiento y entendimiento de aguas residuales ha avanzado extensamente, evolucionando de enfoques basados en procedimientos meramente empíricos a enfoques con principios básicos que abarcan la química, microbiología, física, ingeniería de procesos y matemáticas. La gran mayoría de estos avances han madurado a tal grado que han sido codificados en modelos matemáticos para su simulación en computadoras (Vázquez, Méndez, García, & Carrillo, 2017).

En el caso de los sistemas de control automatizado para el tratamiento de aguas residuales estos han recorrido un largo camino y en la actualidad constituyen un área de tecnología



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

reconocida en la profesión. La tecnología de la instrumentación se encuentra hoy en día mucho más establecida, sin embargo, sólo unos pocos sensores se utilizan en sistemas de control cerrado, los solenoides han mejorado con los años, el poder de cómputo requerido para el control de procesos puede considerarse casi "gratuito" en comparación con los costos totales de los sistemas de tratamiento de los residuales biológicos (STRB) y su operación, la recopilación de datos ya no se considera como un gran obstáculo pues muchas empresas de servicios están diseñando e instalando sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, por sus siglas en inglés, Supervisory Control and Data Acquisition) y de control de procesos de segunda e incluso de tercera generación, se han desarrollado modelos dinámicos avanzados de muchos de los procesos unitarios que ocurren en un STRB y existen simuladores comerciales que permiten condensar este conocimiento de la dinámica de la planta en un paquete de software; además, los operadores e ingenieros de procesos tienen hoy en día una mayor comprensión en instrumentación, informática e ideas de control (Alasino, 2009; Vázquez et al., 2017).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi la totalidad de los países de América Latina incumplen a nivel general de lo requerido en materia ambiental por la cantidad de agua contaminada y la poca infraestructura e inversión en estas plantas (Becerra & Gutiérrez, 2013). Actualmente la industria biotecnológica es una de las ramas que más hincapié hace en el correcto vertimiento de sus residuales considerando que uno de los medios naturales más afectados por esta contaminación es el hídrico y que fácilmente puede llegar a afectar a la población que esté en contacto con dichas aguas. Por lo tanto, la Oficina Nacional de Normalización, que es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y que representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización, entre sus normas vigentes utiliza la NC 27:1999 que regula el "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado".

El Centro de Inmunología Molecular (CIM) cuenta con una planta destinada a la investigación y desarrollo de nuevos productos biotecnológicos y varios laboratorios concentrados en el edificio de investigaciones (INIM), de los procesos que allí se realizan se obtienen residuales que en muchos casos van acompañados de virus y bacterias que constituyen un peligro para la salud, así como sangre humana empleada en las



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

investigaciones contra el cáncer. Cuenta también con un bioterio donde se realizan investigaciones utilizando animales, fundamentalmente ratones. Por tal motivo surgió la necesidad de instalar un STRB que le diera solución a la problemática que existía en la empresa: *la ausencia de un sistema de tratamiento e inactivación biológica de los residuales líquidos que, dicha carencia, además, frenaba le otorgamiento de la licencia de operación del edificio.*

Partiendo de esta situación el Departamento de Ingeniería del INIM se trazó el objetivo de *diseñar, instalar y realizar la puesta en marcha de un equipamiento que fuera capaz de darle solución a este problema.* Dicho sistema funcionaría totalmente automatizado y utilizando las últimas tecnologías en el mundo de la automatización industrial basadas en PLC, red Profibus, ethernet y sistema SCADA. La automatización de máquinas o procesos tiene mucho campo de aplicación en todas las industrias que necesitan progresar y con ello hacer sus sistemas mucho más eficientes y seguros teniendo con ello un control automático de las variables a tener en cuenta en sus distintos procesos de producción (Chimborazo & Vélez, 2013).

De manera general, el STRB del INIM es un sistema en el que se realiza el tratamiento no convencional de las aguas residuales provenientes de los laboratorios, previo a su evacuación final, y al igual que gran parte de las plantas de tratamiento de agua residual a nivel mundial, se conforma de dos etapas, la primera es un sistema de tratamientos fisicoquímicos que acondicionan al agua residual para luego ser evacuada hacia la segunda etapa: un reactor biológico compuesto de lodos activos (Larrea, 2019), y finalmente hacia la red de alcantarillas del municipio y al medio ambiente. Este trabajo se centra en el sistema instalado para el tratamiento físico-químico de los residuales.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

La siguiente Tabla 1 muestra los valores límites que deben cumplir las concentraciones de los posibles contaminantes presentes en los residuales líquidos antes de ser vertidos al sistema de alcantarillados, según las Normas Cubanas (Normalización, 1999).

Parámetro	Unidades	LMPP
Temperatura	°C	< 50
PH	u	6-9
Sólidos sedimentables	mL/L	<10
Grasas y Aceites	mg/L	<50
Conductividad eléctrica	µS/cm	<4000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<300
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	<700
Fenoles	mg/L	<5
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<25
Aluminio	mg/L	<10.0
Arsénico	mg/L	<0,5
Cadmio	mg/L	<0,3
Cianuro	mg/L	<0,5
Cobre	mg/L	<5,0
Cromo hexavalente	mg/L	0,5
Cromo total	mg/L	2,0
Mercurio	mg/L	0,01
Plomo	mg/L	1,0
Zinc	mg/L	5,0
Sulfuros	mg/L	5,0

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) para los parámetros de los residuales líquidos



2. Metodología

Para lograr el cumplimiento del objetivo, el trabajo se tuvo que realizar en diferentes etapas:

- Confección del diagrama de tuberías e instrumentación, planos eléctricos y su correspondiente lista de elementos con las especificaciones técnicas según estándares actualizados.
- Solicitar la compra de todos los elementos listados.
- Instalación del equipamiento.
- Programación y configuración de los dispositivos que utilicen software para sus funciones.
- Realizar la puesta en marcha del equipamiento velando por el correcto desempeño del sistema en general.

Luego de un extenso trabajo de mesa se confeccionó el diagrama de tuberías e instrumentación inicial del sistema, al cual eventualmente se le fueron realizando mejoras hasta llegar al definitivo. En la Figura 1 se aprecia una parte del mismo pero que es representativo de todo el proyecto.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

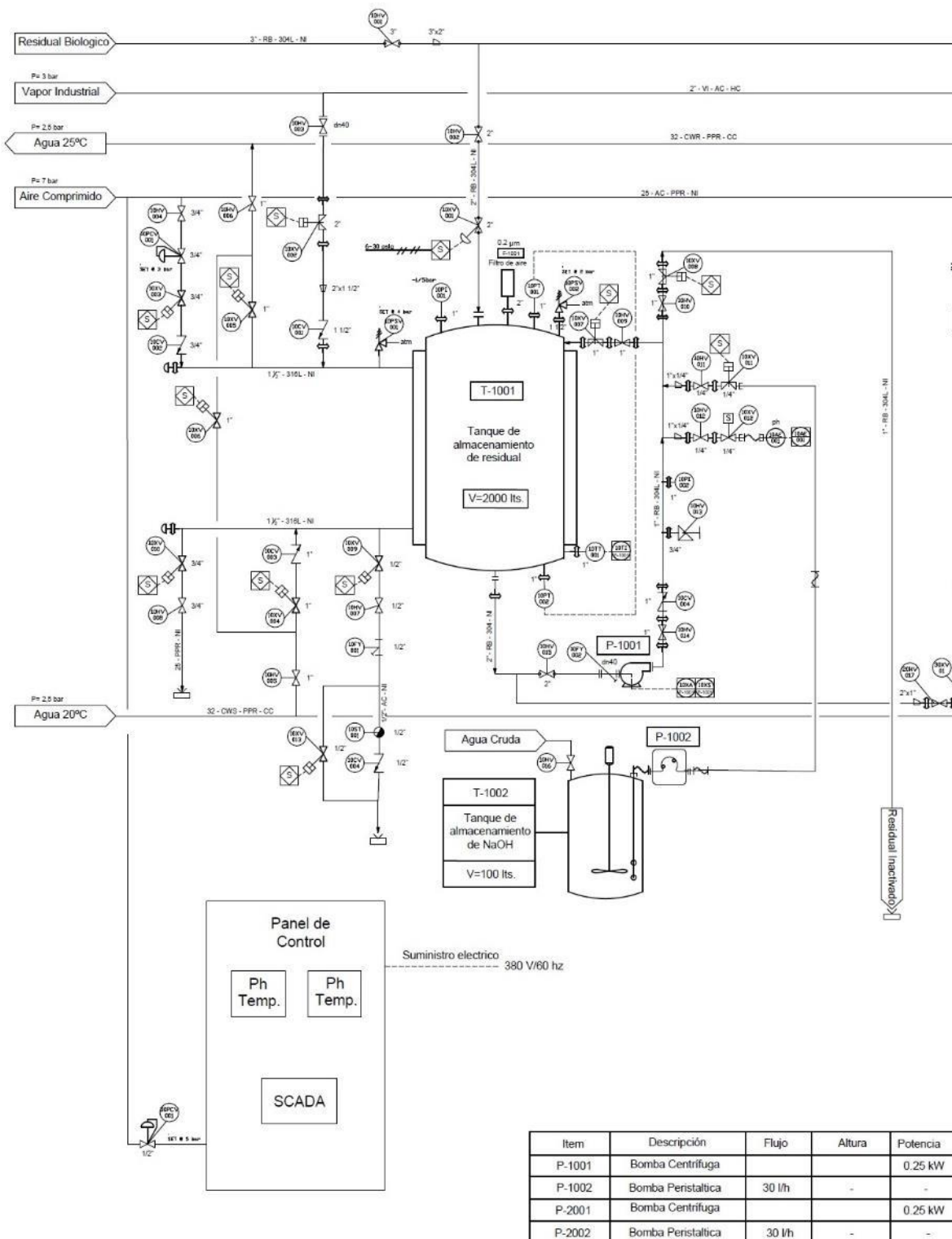


Figura 1. Diagrama parcial de tuberías e instrumentación (P&ID: Piping and Instrumentation Diagram)



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

Inicialmente el equipo de trabajo se enfrentó a condiciones adversas relacionadas con el lugar donde se instalaría el sistema, pues como se aprecia en la Figura 2 el local, ubicado en el sótano del edificio, se encontraba sin terminar y con problemas constructivos, sin iluminación, inundado, sin ventilación, etc.



Figura 2. Condiciones iniciales del local

Además, se contaba solamente con los tanques (Figura 3) para el almacenamiento y tratamiento de los residuales líquidos, con las bombas (Figura 4) que se utilizarían para la homogenización y evacuación de estos y con los servicios auxiliares de aire comprimido, agua para enfriamiento y vapor industrial.

Las características principales de estos elementos se listan a continuación:

Tanques enchaquetados:

- Tanques enchaquetados de 2000 L de capacidad
- Presión de diseño: 3 bar
- Fabricante: CHEMAP
- Material: Acero Inoxidable 304



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

- Dimensiones del Vaso: 1000 mm (diámetro), 2500 mm (altura)
- Volumen de la chaqueta: 150 L



Figura 3. Tanque enchaquetado para el almacenamiento y tratamiento de los residuales.

Bombas de recirculación:

- Marca: Saci Pumps
- Modelo: NKM-G 32-125
- $Q = 13.5 \text{ m}^3/\text{h}$
- 1750 rpm
- $H = 6.4 \text{ m}$
- Voltaje: 230/400 VAC
- Frecuencia: 60 Hz
- Potencia: 0.25 kW
- Conexión bridada. Diámetro interno de 1".



Figura 4. Bomba para la homogenización de los residuales y su evacuación.

Sistemas auxiliares no controlados y residuales biológicos:

- Aire Comprimido: 6 bar
- Agua de enfriamiento: 20 °C, 5 m³/h
- Vapor Industrial: 300 kg/h, 3 – 8 bar
- Residual Biológico: 42 L/h

El resto de los elementos necesarios para la instalación se importaron según las características previamente consultadas en el grupo, díganse: filtros de línea, filtros de venteo, manómetros indicadores de presión con diferentes escalas, válvulas cheques, de seguridad, manuales (de bola y de compuerta), neumáticas (de membrana, de asiento, de diafragma), reductoras, abrazaderas triclamp de diferentes medidas, adaptadores de férula clamp de diferentes medidas, tuberías, codos, tee, reducidos, etc. Algunos de estos elementos se muestran en las siguientes Figuras 5, 6 y 7.



Figura 5. Manómetros.



Figura 6. Válvulas.



Figura 7. Válvula reguladora, trampa de vapor y filtro de venteo.

Instalados en el panel de control (Figura 8) se encuentran elementos como interruptores termomagnéticos modulares, contactores tripolares, breakers, guardamotores, relés, pulsador de emergencia, fuente universal regulada con salida ajustable (24-28 VDC), terminales de válvulas compacto festo CPV14, autómatas modulares SIMATIC S7-300 de SIEMENS con CPU313C-2 DP, módulo de entradas y salidas digitales DI16/DO16xDC24V, módulo de salidas analógicas AI8x12BIT, módulo de red SIMATIC NET CP 343-1, panel SIMATIC HMI TP-700 COMFORT, entre otros.



Figura 8. Panel de control con elementos eléctricos, neumáticos y de control automático.

Además, existe un lazo de control de pH (Figura 9) para la inyección de hidróxido de sodio o sosa cáustica (NaOH) compuesta por:

- Tanque de plástico resistente de 100 L de capacidad para el almacenamiento del NaOH.
- Bomba SMART Digital-DDA 30 de GRUNDFOS para la dosificación de NaOH.
- Transmisor LIQUISYS-M CPM223 PR01 10 para sensores de pH de Endress+Hauser (E+H).
- Sensor de pH CPS11-2BA2ESA de E+H.
- Portaelectrodos CCA-250 de E+H.
- Sensor de nivel de tanque.



Figura 9. Elementos del lazo de control de pH.

Como parte de los elementos de campo encontramos también:

- Sensor de temperatura iTHERM® TM401 E+H, rango de medición: $-50 \dots +200$ °C, salida 4-20 mA (Figura 10).
- Transmisor de presión JUMO dTRANS p30, rango de medición: $0 \dots 2.5$ bar, salida 4-20 mA a dos hilos, utilizado para la determinación del nivel en los tanques por diferencia de presión (Figura 11).



Figura 10. Sensor de temperatura.



Figura 11. Sensor de presión.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

Todo el sistema es controlado por una unidad de control lógico programable la cual garantiza el correcto funcionamiento y seguridad del mismo (SIEMENS, 2006). Este además trabaja como un sistema independiente y cuenta con un con un panel de operador o HMI ubicado en el panel de control. El software utilizado es el TIA Portal que integra diferentes grupos SIMATIC en una única aplicación permitiendo aumentar la productividad y la eficiencia del proceso, este incluye: STEP 7 Professional y WINCC Professional Max. Powertags ambos en su versión 13 SP1 (Figura 12). Las variables controladas por el PLC son pH, temperatura, nivel y presión. El sistema de control está basado en una periferia descentralizada (Figura 13) utilizando un bus de comunicación (Profibus) para enlazar los módulos de electroválvulas neumáticas con el controlador y Ethernet para la comunicación con la aplicación SCADA (Figura 14) tanto con el panel HMI como con la PC de supervisión en la Sala de Control.

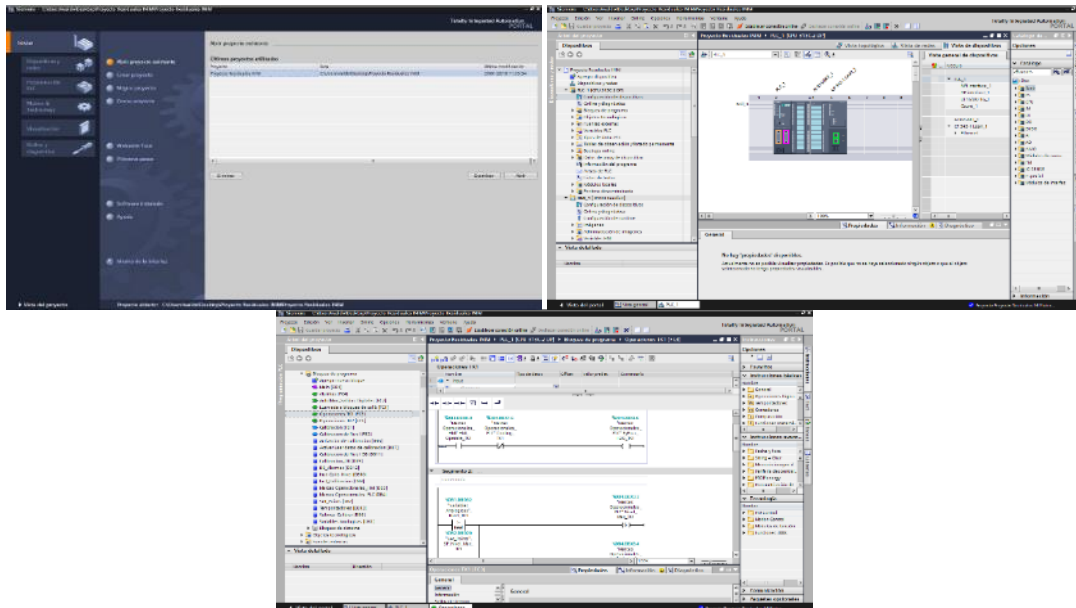


Figura 12. TIA Portal.

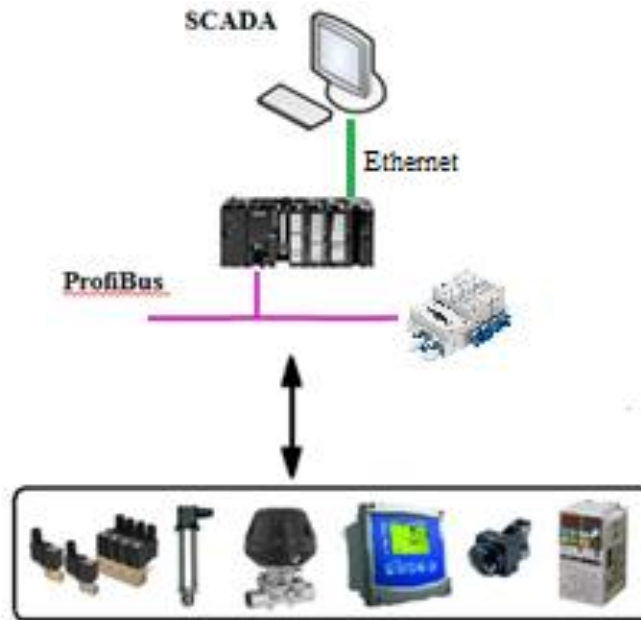


Figura 13. Diseño de la periferia descentralizada.



Figura 14. SCADA.

Como ya se había mencionado el sistema cuenta con dos tanques (TK1 y TK2), en los cuales se deposita el residual a inactivar. Inicialmente el residual comienza a entrar en el TK1, mientras el TK2 se encuentra en espera como reserva. Una vez alcanzado el nivel requerido



en TK1, se inicia el proceso de inactivación biológica en el mismo y automáticamente comienza el llenado del TK2 con el residual proveniente de los laboratorios.

Este proceso de inactivación cuenta de varias etapas:

1. Adición de NAOH hasta tanto la mezcla es homogénea y adquiere un valor superior a 10.5 de pH.
2. Transcurre el tiempo de inactivación química de 15 min.
3. Drenaje de la chaqueta antes de cada etapa de calentamiento para garantizar que no contenga agua, evitando así el choque entre el agua fría y el vapor industrial.
4. Calentamiento del residual hasta alcanzar los 70 °C de set-point pre configurado por el usuario.
5. Transcurre el tiempo de inactivación por temperatura de 15 min.
6. Drenaje de la chaqueta antes de cada etapa de enfriamiento para garantizar que no contenga vapor, con igual objetivo que en el paso 3.
7. Enfriamiento del residual hasta alcanzar valores inferiores a 45 °C.
8. Vaciado del tanque hacia foso común de drenajes del edificio.
9. Espera hasta que TK2 comience su proceso de inactivación.
10. Una vez que TK2 comienza su proceso de inactivación (idéntico al TK1), el TK1 comienza a recibir el residual sin tratar de los laboratorios.

3. Resultados y discusión

Finalmente, para darle cumplimiento al objetivo del trabajo, luego de concluida la etapa de montaje, programación y configuración de todo el sistema, se comenzó la puesta en marcha operativa de todos los lazos de control y secuencias de operación.

Además, se definieron los protocolos de calificación así como sus respectivos reportes tanto de la instalación como de la operación (CI y CO). Los protocolos con el objetivo de definir los criterios de aceptación y los requerimientos del STRB del INIM y así asegurar que los equipos y elementos instalados cumplan las especificaciones de compra y de operación respectivamente, y también para reunir la información documental referente a todo el proceso. Y los reportes por su parte, para reportar los resultados, su discusión y las



desviaciones que puedan existir durante la CI y la CO del sistema. Se confeccionaron también los manuales de usuario y operación.

Entre los resultados más relevantes alcanzados se encuentran:

- Se diseñó desde cero un sistema totalmente automatizado que garantizaría un elevado nivel de seguridad y autonomía en las operaciones de tratamiento de los residuales biológicos líquidos.
- El *know-how* es 100% propio de nuestro departamento y por tanto del CIM.
- El sistema funciona con la calidad requerida bajo las normas y parámetros exigidos por las normas cubanas permitiendo el inicio del proceso de otorgamiento de la licencia de operación del INIM.
- Actualmente se encuentra en operación continua sin reportar averías.
- Considerable ahorro económico al centro.
 - Costo de un STRB: 400 000 euros.
 - Total de oferta importada: 80 000 euros.
 - Mano de obra del Dpto. de Ingeniería del INIM

4. Conclusiones

Gracias al grupo interdisciplinario de nuestro Departamento de Ingeniería se logró implementar un sistema capaz de cumplir con todos los requisitos de la industria biofarmacéutica, un sistema nuevo, independiente, totalmente automatizado con operaciones, lazos de control, procesamiento de datos, tratamiento de alarmas, con su sistema de supervisión, etc. Además, como fue diseñado, instalado, programado y configurado por nuestros ingenieros y técnicos, se adaptó totalmente a las necesidades particulares del edificio de investigaciones del CIM cumpliéndose con los objetivos trazados ante la problemática presentada.

Se debe decir también que ecológica y socialmente se asegura que los residuales sean inactivados antes de su evacuación, manteniendo las buenas condiciones medioambientales y de salud de las poblaciones cercanas al centro, así como de sus trabajadores. Cada uno de los procesos que se desarrollan son más seguros desde el punto de vista de manipulación del operador como de la confiabilidad del producto.



5. Referencias bibliográficas

1. Alasino, N. (2009). Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Universidad Nacional del Litoral,
2. Becerra, J. M. L., & Gutiérrez, M. I. O. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Universidad Nacional de Colombia,
3. Chimborazo, F. V., & Vélez, W. Z. (2013). Automatización del proceso de tratamiento de aguas residuales en TECNOVA S.A., Universidad Politécnica Salesiana,
4. Larrea, D. E. V. (2019). Tratamiento de las aguas residuales de una industria farmacéutica de la ciudad de Quito mediante procesos de oxidación avanzada. Universidad Central del Ecuador,
5. Vertimiento de agua residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones., (1999).
6. SIEMENS. (2006). Configurar el hardware y la comunicación con Step 7.
7. Vázquez, C. M. L., Méndez, G. B., García, H. A., & Carrillo, F. J. C. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño.