



AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES

## Re-Automatización y Supervisión de una sala de bombas en el Centro de Inmunología Molecular.

### *Re-Automation and Supervision of a pump room at the Molecular Immunology Center.*

**Autores:** Ing. Waldo Hernández Sánchez<sup>1</sup>, Ing. Daniel Darías Zayas<sup>2</sup>.

1-Waldo Hernández Sánchez. Centro de Inmunología Molecular, Cuba, waldo@cim.sld.cu

2- Daniel Darías Zayas. Centro de Inmunología Molecular, Cuba, daniel@cim.sld.cu

Teléf.: 72717933, ext. 3530, 3222.

#### **Resumen:**

El Centro de Inmunología Molecular (CIM) cuenta con 3 cuartos o salas de bombeo de agua de enfriamiento (6°C), utilizada para realizar la climatización de las áreas limpias de 3 edificaciones destinadas a la investigación y producción de nuevos bio-fármacos para combatir el cáncer y enfermedades crónicas no transmisibles. El presente trabajo se basa en dar solución a un problema grave que presentaba el equipamiento de uno de estos cuartos de bombeo. Uno de los principales problemas que presentaba este sistema es que se produjo una avería grave en el controlador central (PLC) inhabilitándolo totalmente de su función, por tal motivo el sistema había que operarlo de forma manual, elevando la posibilidad de roturas y accidentes, quedando desprovisto de protecciones y seguridad de las operaciones. Entre las principales acciones implementadas fue la incorporación de un nuevo controlador (PLC) de otro fabricante, el cual fue programado y configurado de acuerdo a las condiciones y funciones del sistema de bombeo. Igualmente se incorporó al sistema un variador de frecuencia, mejorando la eficiencia en ahorro energético y la protección a las bombas. Se implementó y ajustó un control de presión mediante control PI para garantizar la presión en línea en todo momento. Finalmente se diseñó y configuró un sistema de supervisión (SCADA) el cual se instaló en una sala de control, mediante el cual se interactúa con el sistema remotamente. Como principal resultado del trabajo es que se implementó un sistema totalmente automatizado que garantiza un elevado nivel de seguridad y autonomía en las operaciones de bombeo de agua de enfriamiento y el sistema HVAC del edificio; además contribuyendo al ahorro energético del centro.

**Abstract:** *The Center for Molecular Immunology (CIM) has 3 rooms for pumping cooling water (6 ° C), used for air conditioning of clean areas of 3 buildings for the research and production of new bio-drugs against cancer and non-transmissible chronic diseases. The present work is based on solving a serious problem that presented the equipment of one of these pumping rooms. One of the main problems presented by this system is that there was a serious breakdown in the central controller (PLC) disabling it completely from its function, for this reason the system had to be operated manually, increasing the possibility of breakages and accidents, leaving devoid of protections and security of operations. Among the main actions implemented was the incorporation of a new controller (PLC) from another*





Estas climatizadoras suministran un gran caudal de aire acondicionado que se distribuye por una red de conductos a través de la instalación. Su diseño y constitución varía según el fabricante y la aplicación a la que será destinada, pero de manera general consta de una entrada de aire exterior, uno o dos filtros en dependencia de la calidad del aire que se requiera, un ventilador y uno o dos intercambiadores de frío/calor.

Como este tipo de climatizadoras dependen totalmente del sistema refrigerante, que en el caso del CIM es agua fría (6°C), el sistema de bombeo de agua hacia estos equipos constituye un eslabón fundamental para garantizar el correcto acondicionamiento y calidad del aire que se inyecta hacia las salas blancas y laboratorios. Este trabajo está enfocado precisamente en presentar una serie de modificaciones y ajustes al sistema de bombeo de agua fría (6°C) hacia las climatizadoras de uno de los edificios de Investigación y Desarrollo del CIM.

### 1.1 Situación Problema

El sistema de bombeo de agua fría hacia el edificio de Investigaciones y Desarrollo, constituye un elemento crítico dentro del sistema HVAC y garantizar las condiciones ambientales de las salas blancas. Las principales problemáticas que presentaba este sistema eran:

- ✓ Producto de una grave avería en el controlador central (PLC) el sistema quedo desprovisto de acciones de control, seguridad y operación automática.
- ✓ La operación del sistema era de forma manual, elevando la posibilidad de roturas y accidentes, quedando desprovisto de protecciones y seguridad de las operaciones.
- ✓ Las bombas funcionaban al máximo de su capacidad de consumo eléctrico y bombeo sin necesidad.
- ✓ No existía ningún sistema de supervisión y aviso en caso de averías.

### 1.2 Objetivos

Realizar la Re-Automatización y Supervisión del Sistema de Bombeo de agua fría hacia la planta de Investigaciones y Desarrollo del CIM.

### 1.3 Aspectos Generales de los procesos de bombeo

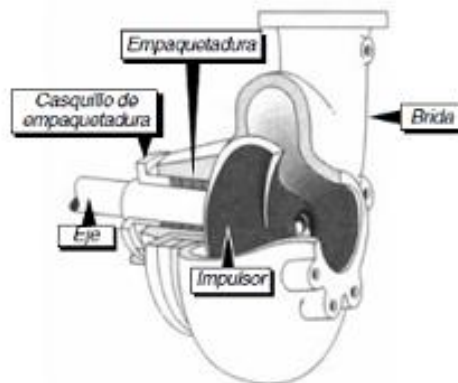
Las bombas e instalaciones de bombeo son componentes esenciales y vulnerables en casi todos los sistemas de agua. El diseño, operación y mantenimiento inadecuados de los sistemas de bombeo pueden representar riesgos graves, incluida la pérdida completa del suministro de agua.

Existen diversos tipos de bombas y aplicaciones en los sistemas de agua. Las bombas que se utilizan para transportar agua a través del sistema están dentro de la categoría de desplazamiento variable' o «centrifugas». Otras aplicaciones usan bombas de desplazamiento positivo, como en la dosificación de sustancias químicas, remoción de lodos, muestreo y compresión de aire.



## **Bombas centrífugas**

Las bombas centrífugas tienen un impulsor giratorio montado en un eje conectado a la fuente de energía. El impulsor giratorio aumenta la velocidad del agua y la descarga a una tubería diseñada para disminuir el caudal de agua y convertir la velocidad en presión. Las bombas centrífugas equipadas con un sólo impulsor se denominan bombas de una sola etapa, mientras que las que tienen dos o más impulsores se llaman bombas de múltiples etapas. Estas últimas pueden bombear a mayores alturas de descarga, pero no aumentan el caudal. (Véase figura 2).



**Fig. 2 Bomba Centrífuga**

## **2. Metodología**

Por los problemas mostrados anteriormente nos dimos a la tarea de diseñar, instalar, programar, configurar y poner en marcha un sistema automatizado para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de bombeo, entre las principales acciones que se desarrollaron se encuentran:

- × Analizar los medios técnicos de automatización existentes y proponer la instrumentación adecuada para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo.
- × Incorporar un Variador de Frecuencia al sistema.
- × Diseñar, configurar y programar el control lógico secuencial, basado en Controlador Lógico Programable (PLC).
- × Diseñar la aplicación para la supervisión del sistema.

La CPU encargada de realizar el control de todas las operaciones del sistema de bombeo y garantizar su correcto funcionamiento y seguridad es un S7-300 CPU-313C del fabricante SIEMENS. Se incorporaron nuevos controles de variables y lazos de control para garantizar una automatización más integral del proceso. A continuación se muestran los lazos de control de la nueva propuesta:

### **Variables controladas en el proceso.**

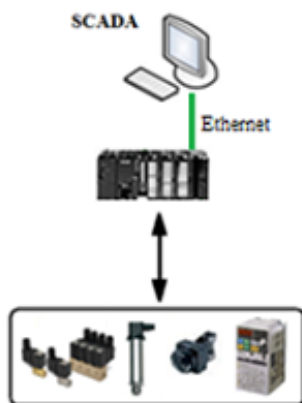
- Presión en Línea. (Nuevo)



### ***Variables supervisadas en el proceso.***

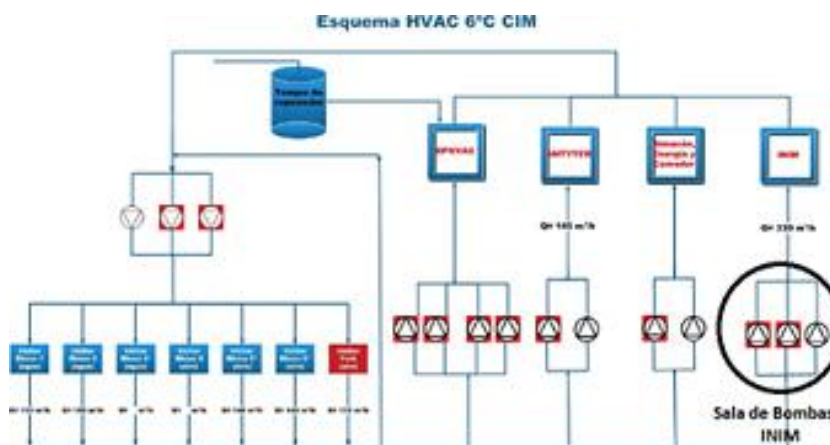
- Temperatura Línea de Impulsión (Nuevo)
- Temperatura línea de Retorno (Nuevo)
- Protecciones de bombas

El nuevo sistema control está basado en un Controlador Lógico Programable (*PLC*), el cual será el encargado de ejecutar todas las acciones sobre el proceso. La comunicación con el sistema de supervisión se realiza a través de Ethernet, instalado en la sala central de control del edificio. A continuación se muestra la estructura del sistema de control (véase *figura 3*).



***Fig. 3 Sistema de control del sistema de bombeo.***

Como característica particular de este sistema de bombeo es que esta compuesto por 3 bombas de 160 m<sup>3</sup>/h cada una, instaladas en paralelo. El flujo de agua requerido en el sistema HVAC del INIM oscila alrededor de 300 m<sup>3</sup>/h, por lo tanto el sistema se diseñó para que operen siempre 2 de las 3 bombas y una quede de reserva en caso de averías. A continuación se muestra el sistema de agua de 6 grados en el CIM.



***Fig. 4 Sistema de agua a 6 grados en el CIM.***

Como idea inicial se implementará la incorporación de 1 variador de frecuencia para que actúe como arrancador suave de las bombas y como controlador de la presión en línea.



## 2.1 Controlador lógico programable (PLC)

Un Automata Programable Industrial (API) o Controlador Lógico Programable (PLC), es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial (hostil), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.

El autómata gobierna las señales de salidas según la lógica del programa de control previamente almacenado en una memoria en su unidad de procesamiento central (CPU), a partir del estado de las señales de entrada. Este programa se inserta en el PLC a través de la unidad de programación, que permite además funciones adicionales como depuración de programas, simulación, monitorización, control del autómata y otras más.

## 2.2 Variador de Frecuencia

La gran ventaja de emplear un variador de frecuencia para controlar la velocidad de ventiladores o bombas está en el ahorro de electricidad que se obtiene. Si se compara con sistemas y tecnologías reguladoras alternativas, un variador de frecuencia es el sistema de control de energía óptimo para regular sistemas de ventiladores y bombas.

Con la utilización de este tipo de equipos se obtiene una mejor función de regulación que puede ajustarse con mucha precisión. Un variador de frecuencia puede variar totalmente la velocidad de un ventilador o una bomba, lo que permite obtener un amplísimo control variable de flujo y presión. Además, regula rápidamente la velocidad de un ventilador o una bomba, de manera que los adapta a las nuevas condiciones de flujo o presión del sistema.

## 2.3 Diseño de planos eléctricos

Se realizó el diseño de los planos eléctricos con las nuevas modificaciones mediante el software *Engineering Base* para posteriormente realizar el montaje y cableado del panel de control con los elementos de campo, en la siguiente figura se muestra un ejemplo de los planos eléctricos realizados.

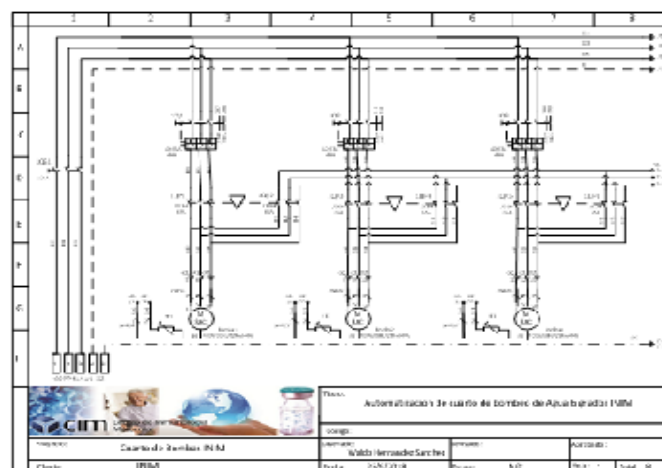


Fig. 5 Diseño de planos eléctricos.



## 2.4 Montaje de elementos de campo y adaptación del nuevo panel de control

Se realizó el montaje y adaptación de la nueva instrumentación de campo por ingenieros y técnicos de nuestro departamento de ingeniería, a continuación se muestran imágenes del montaje.



Figura 7. Diseño y cableado del panel de control

## 2.5 Programación y configuración del sistema de control y supervisión

El programa de control se realizó mediante el software TIA PORTAL V15 del fabricante Siemens, la configuración cuenta con 5 bloques de funciones programadas y 7 bloques de datos y se implementó 1 control PI para el ajuste de la presión en línea. En la siguiente figura se muestra la ventana principal de programación:

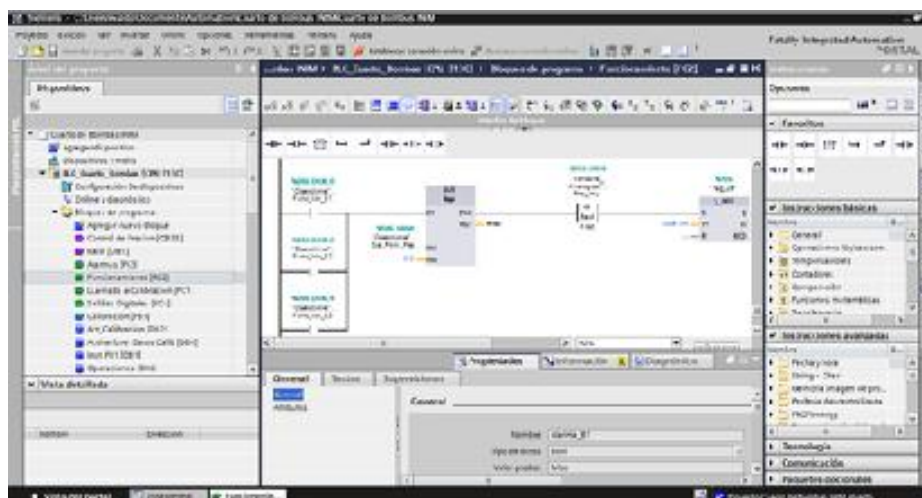


Fig. 7 Bloques de programa y configuración en TIA PORTAL V15



## Ajuste del lazo de control de presión

El ajuste del lazo de control de presión se realizó utilizando El método de Ziegler-Nichols combinado con las herramientas de control y ajuste de controladores que brinda el software TIA PORTAL V15, las cuales permiten mediante simulación en tiempo real el ajuste de lazos de control.

El método de Ziegler-Nichols permite ajustar o "sintonizar" un regulador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o sistema controlado. El método de sintonización de reguladores PID de Ziegler-Nichols permite definir las ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado. Cada uno de los dos ensayos se ajusta mejor a un tipo de sistema. A continuación se muestra el lazo de control de presión sobre el cual se realizó el ajuste.

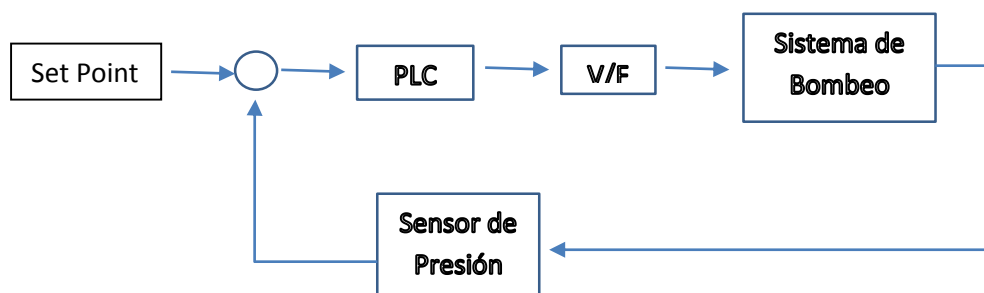


Fig. 8 Lazo de Control de Presión.

### Sintonización por la ganancia crítica en lazo cerrado

Este método no requiere retirar el controlador PID del lazo cerrado. En este caso sólo hay que reducir al mínimo la acción derivativa y la acción integral del regulador PID. El ensayo en lazo cerrado consiste en aumentar poco a poco la ganancia proporcional hasta que el sistema oscile de forma mantenida ante cualquier perturbación. Esta oscilación debe ser lineal, sin saturaciones. En este momento hay que medir la ganancia proporcional, llamada ganancia crítica o  $K_c$ , y el periodo de oscilación  $T_c$  en segundos.

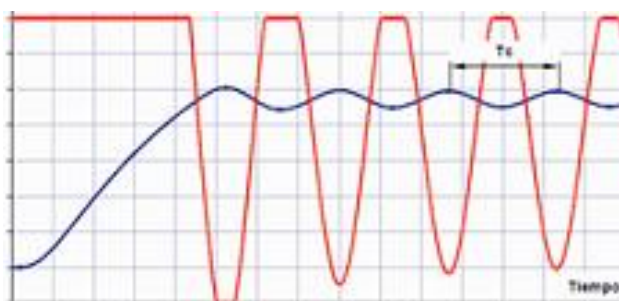


Fig. 9 Oscilaciones permanentes.

Una vez medidos estos dos valores, se pueden calcular los parámetros del controlador PID con acción solo proporcional (P), proporcional e integral (PI) o proporcional integral y derivativa (PID):





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

Control	Kp	Ti	Td
P	0.50*Kc		
PI	0.45*Kc	0.83*Tc	
PID	0.59*Kc	0.50*Tc	0.125*Tc

La primera operación será la de anular las acciones derivativa e integral:

$$Kd = 0$$

$$Ki = 0$$

El controlador PI utilizado utiliza tiempos (TI y TD) y no ganancias, por lo que  $Td = 0$  y  $Ti = \infty$ .

A continuación se fija una presión de trabajo en la referencia y se aumenta la ganancia proporcional hasta conseguir una respuesta oscilatoria mantenida.

Después de realizada la simulación:

$$KC = 13$$

$$TC = 2.5$$

Para control PI:

$$P = 0.45 * KC = 5.85$$

$$TI = 0.83 * TC = 2.1$$

Posteriormente se realizó el ajuste fino utilizando la herramienta de simulación de TIA PORTAL V15, a continuación se muestran imágenes del ajuste de los parámetros del controlador PI.

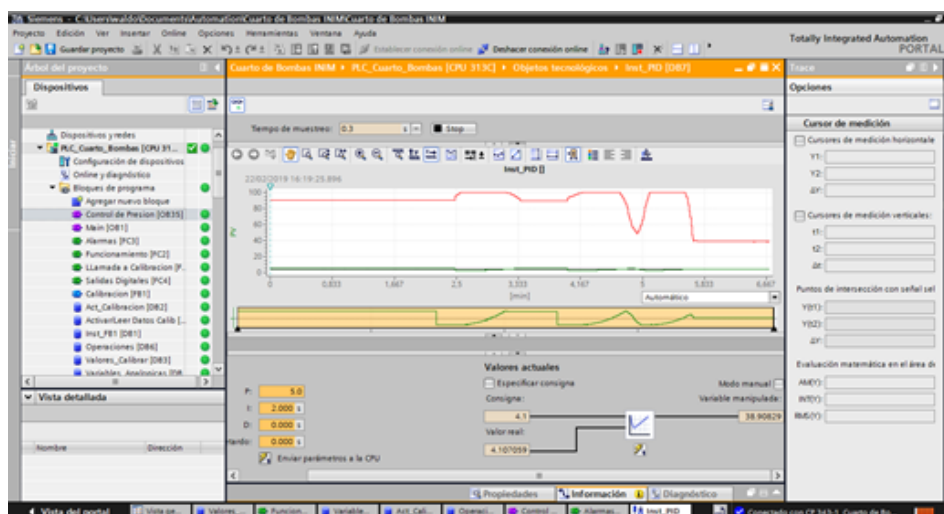
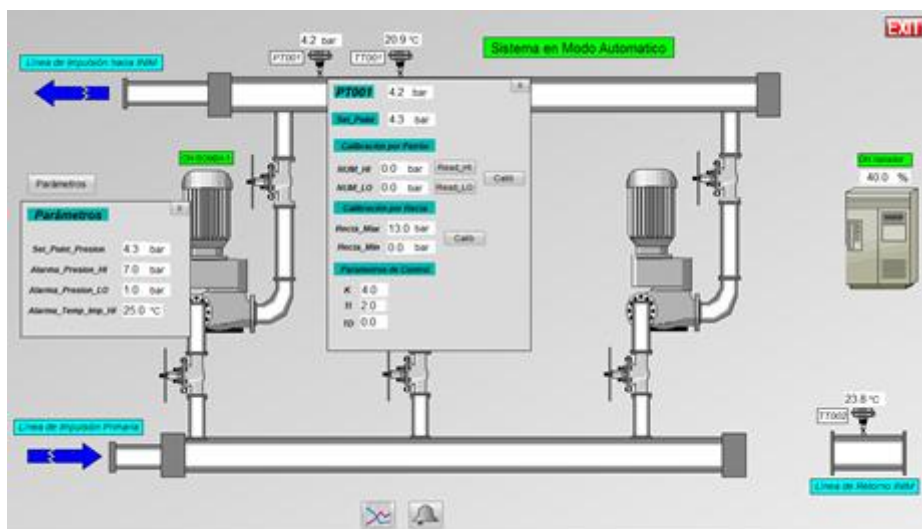


Fig. 10 Sintonía de Controladores en TIA PORTAL V15

Una vez concluida la programación en el PLC, se realizó la configuración de la aplicación de supervisión mediante la cual se podrá supervisar todo el sistema mediante sinópticos, almacenar las variables para el análisis de datos estadísticos, generación de alarmas, etc. En la siguiente figura se muestra la pantalla principal de este sistema.



**Fig. 11 Pantalla Sistema de supervisión.**

### 3. Resultados y discusión

Después de concluida la etapa de montaje, programación y configuración de todo el sistema, comenzamos la puesta en marcha operativa de los lazos de control y secuencia de operación, obteniendo muy buenos resultados en el desempeño del sistema.

Entre los resultados más relevantes alcanzados se encuentran:

- ✓ Se implementó un sistema totalmente automatizado que garantiza un elevado nivel de seguridad y autonomía en las operaciones de bombeo de agua de enfriamiento.
- ✓ Con el ajuste y control de la presión en la línea de distribución de agua fría, se garantiza que este líquido refrigerante llegue a todas las climatizadoras del edificio con la calidad requerida.
- ✓ Con la incorporación del sistema de supervisión se garantiza el aviso oportuno con la aparición de alguna avería en el sistema.
- ✓ Se eleva la eficiencia energética con la incorporación al sistema de un variador de frecuencia.

Para dar a conocer el impacto que este nuevo proyecto ha tenido en cuanto al ahorro energético del centro, realizaremos el siguiente análisis de caso:



Como anteriormente se planteó en el sistema para garantizar las condiciones óptimas deben operar 2 bombas a una presión constante de aprox. 4.5 bar, y con funcionamiento continuo 24 horas, en la siguiente tabla se realizará el análisis de consumo energético, para este caso.

<b>Bombas Operando</b>	<b>Sin Variador de Frecuencia</b>	<b>Con Variador de Frecuencia</b>
Bomba 1	42 Amp	42 Amp
Bomba 2	42 Amp	25 Amp (No trabaja al 100%, para garantizar la presión)
Total de consumo/horas	84 Amp/hora	67 Amp/hora
Total de Potencia Consumida/hora (a 400V)	26,9 KW/h	21.4 KW/h
Total de Potencia Consumida (al año)	$26,9 \times 24 \times 30 \times 12 = 232416$ KW	$21.4 \times 24 \times 30 \times 12 = 184896$ KW <b>Ahorro de 47520 KW</b>

Además un pico de arranque de cada una de estas bombas sin variador de frecuencia son de aproximadamente 55 Amp lo que representan 4.16 KW adicionales de consumo de energía durante cada arranque de bomba.

Con el sistema diseñado se reduce considerablemente el riesgo de que las instalaciones se vayan de los parámetros especificados (temperatura). Un fallo en el sistema de bombeo puede desencadenar en una contaminación de las instalaciones lo que pondría en riesgo las investigaciones y las producciones de medicamentos, también habría que añadir los gastos en recursos que se desencadenarían para limpiezas y acondicionamiento nuevamente de las instalaciones.

#### 4. Conclusiones

- Se incorporan a este sistema de bombeo controles más rigurosos y complejos para garantizar la seguridad y operatividad del sistema HVAC del INIM.
- Se implementó un nuevo sistema de automatización integral, operaciones, lazos de control, procesamiento de datos, desde su software de control, hasta su sistema de supervisión.
- Se adaptó el sistema de control de este equipamiento a las necesidades propias del INIM.
- **Se consolida un Know How propio del CIM en este tipo de sistemas automatizados.**



## 5. Referencias bibliográficas

1. Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. Tercera edición. Editorial Prentice Hall.
2. V. M. A. Ruíz, «Métodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores,» *Ingeniería (Costa Rica)*, vol. 12, nº 1-2, pp. 21-36, 2002.
3. Capítulo 4, Controlador Lógico Programable PLC [Internet], Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/maza\\_c\\_ac/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo4.pdf)
4. Alvarado F.E. Guía de Prácticas para autómatas programables basados en el S7-200 y el EM-235, Universidad de ANZUAY, Ecuador, 2010.
5. Manual Programar con STEP7 [Internet], 2006, Disponible en: [http://cache.automation.siemens.com/dnl/jExNDU0NwAA\\_18652056\\_HB/S7prv54\\_s.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/jExNDU0NwAA_18652056_HB/S7prv54_s.pdf)
6. Siemens. Central Processing Unit CPU 314. [Internet]. 2007. Disponible en: [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
7. Siemens. Configurar el hardware y la comunicación con Step 7. [Internet]. 2006. Disponible en: [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
8. Siemens. Esquema de contactos (KOP) para S7-300 y S7-400. [Internet]. 2006. Disponible en: [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
9. Siemens. S7-300 CPU 31xC and CPU 31x: Technical Specifications. [Internet]. 2011. Disponible en: [www.siemens.com](http://www.siemens.com).
10. Ogata, Katsuhiko. Sistemas de control en tiempo discreto. Segunda edición. Editorial Prentice Hall.