

## Las redes de Petri como ente de optimización energética

### *The nets of Petri like entity of energy optimization*

Franklyn González Segura <sup>1\*</sup>, José Eduardo Márquez Delgado <sup>2</sup>, Juan Ramón Castillo Matos <sup>3</sup>, Nelson dos Santos Castigo <sup>4</sup>

<sup>1</sup> MSc. Profesor Auxiliar. [franklyngonzalezsegura1969@gmail.com](mailto:franklyngonzalezsegura1969@gmail.com)

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias. Profesor Titular. [jemarquezd69@gmail.com](mailto:jemarquezd69@gmail.com)

<sup>3</sup> MSc. Profesor Asistente. [nonchipyo@gmail.com](mailto:nonchipyo@gmail.com)

<sup>4</sup> Ingeniero Eléctrico. Empresa PRODEL. Lunda Sul. Angola. [nelcastigo015@gmail.com](mailto:nelcastigo015@gmail.com)

\*Autor para correspondencia: [franklyngonzalezsegura1969@gmail.com](mailto:franklyngonzalezsegura1969@gmail.com)

### **RESUMEN**

Este trabajo consistió en la presentación de un diseño de automatización del sistema de refrigeración de la fábrica de conservas Turquino, de la ciudad de Holguín, Cuba, para el control lógico secuencial de la puesta en marcha, monitoreo y control de los parámetros de trabajo, el control de nivel y el descarche de los evaporadores de manera fiable y segura, se tuvo en cuenta las particularidades de dicha instalación, auxiliados con el método de modelación en Redes de Petri GHENeSys y su traducción a programas en lenguaje IEC1131 compatible del ISAGRAF dentro del proyecto de instalación de todo el sistema para lograr optimización energética.

**Palabras clave:** : Redes de Petri, autómatas programables, optimización energética y automatización.

### **ABSTRACT**

*This work consisted in the presentation of a design of automation of the cooling system of the canned foods manufacturing plant Turquino, of the city of Holguín, Cuba, for the logical sequential control of the starting, monitoring and control of the parameters of work, the control of level and the unfreezing of the evaporators of reliable and safe way, it had into account the particularities of said installation, aided with the method of modeling in Nets of Petri GHENeSys and its translation to programs in language compatible IEC1131 of the ISAGRAF inside the project of installation of the whole system to achieve energy optimization.*

**Keywords:** *Nets of Petri, programmable robots, energy optimization and automation.*

## INTRODUCCIÓN

Los autómatas programables en las instalaciones de refrigeración, al igual que en otras ramas son utilizados con la finalidad de elevar la eficiencia de las mismas al controlar una serie de parámetros que determinan su funcionamiento en condiciones óptimas, en el caso de estudio enfocados en optimizar energía eléctrica. Estos elementos se encuentran disponibles sobre la lógica de una cantidad de entradas y salidas posibles digitales o analógicas que lo proyecten con el proceso de control y otros dispositivos disponibles, donde la relación funcional entre las entradas y salidas se establece a través de un programa, (Venkatesh et al., 1995). Lo que con su soporte de programas, posibilitan realizar estructuras redundantes y sistemas de alta fiabilidad, al utilizarse con objetividad un mismo módulo padrón para operación o aplicación industrial, como es el caso de estudio, (Couto de Moraes y Castrucci, 2002).

Entre las ventajas del uso de los autómatas programables, descritas por, (Miyagi, 1997), se encuentran la aplicación en ambiente industrial; equipos flexibles por su carácter programable; fáciles de instalar y reutilizables para gran capacidad y velocidad de procesamiento de información; con las diferentes partes y poder realizar animaciones de todo el desarrollo de operaciones y transferirlo a proceso en tiempo real; unión y configuración de lazos para garantizar confiabilidad.

La programación está definida como la forma sintáctica empleada para introducir las instrucciones necesarias, los autómatas cuentan con cinco lenguajes que difieren tanto en estructura como en complejidad, Lenguaje Diagrama de Escalera (LD); Lista de Instrucciones (IL); Diagrama de Bloques Funcionales (FBD); Texto Estructurado (ST) y Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC), de acuerdo con (Piedrahita, 1999).

En la propuesta de diseño de automatización eficiente del sistema de refrigeración de la Fábrica Turquino de la ciudad de Holguín, el autor empleó el lenguaje LD, por ser el más generalizado y adecuado para obreros y técnicos. Este proceso permitiría ahorrar y optimizar energía eléctrica.

La modelación utilizada fueron las Redes de Petri, las de mayor aplicación en la descripción formal de programas de autómatas programables, introducidas por (Petri, 1962). Entre las ventajas de las Redes de Petri descritas por (Murata, 1989), se encuentran la facilidad para el análisis de las principales propiedades y menos costo para la validación del proceso.

Todo esto justifica la obtención de nuevos métodos que tornen más rápido y seguro este proceso, pero sin descuidar el contenido formal. En este campo, las Redes de Petri y sus extensiones, han sido las representaciones que más han avanzado en este sentido por su dualidad matemático-gráfica, su aplicabilidad y expresividad, (Ávila et al, 2004).

En el análisis y diseño de modelos basados en Redes de Petri se tuvieron en cuenta un conjunto de propiedades, según (Benítez, 2000), tales como las propiedades funcionales y las propiedades estructurales.

La instalación constará de etapas de compresión, separación intermedia de los vapores, doble estrangulación, enfriamiento intermedio completo y dos temperaturas.

La sustancia de trabajo de la instalación es el R717 (NH<sub>3</sub>); a pesar de su carácter tóxico, inflamable y explosivo, en ciertas condiciones son propiedades que tienen un carácter secundario puesto que se cuenta con los medios de protección adecuados y un personal especializado.

Para la puesta en marcha de la instalación se deben tener en cuenta una serie de operaciones que hoy se realizan de forma manual: operaciones para la puesta en marcha de la instalación;

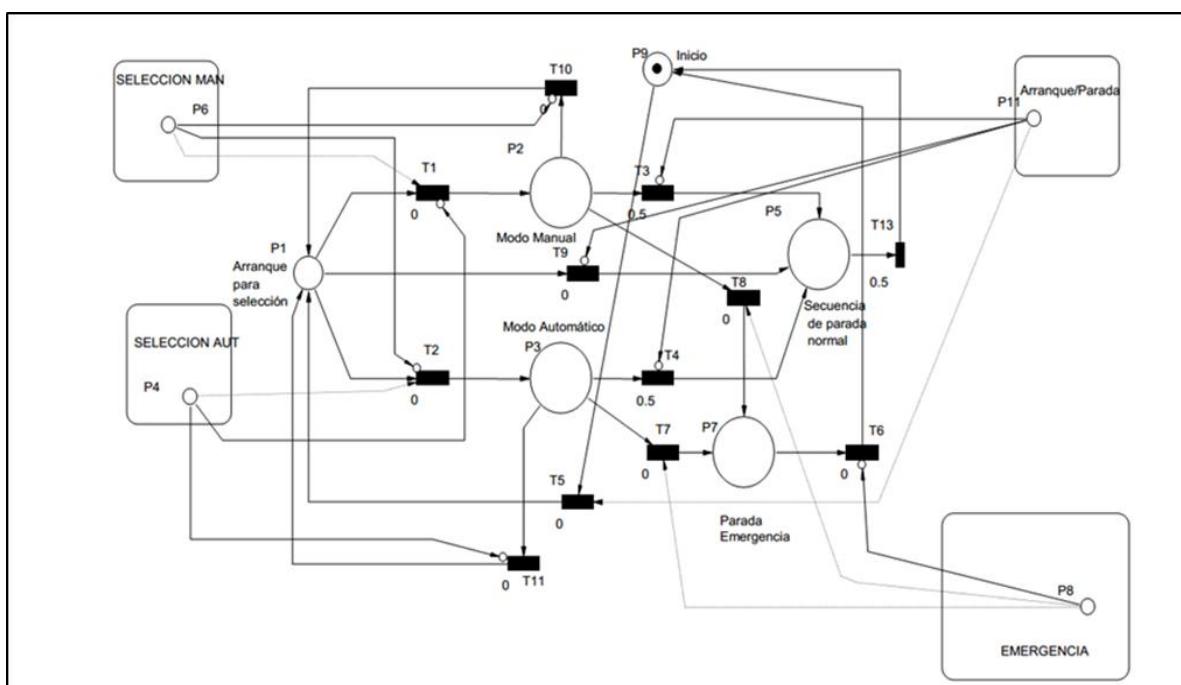
revisión exterior de los equipos; puesta en marcha de los condensadores evaporativos; puesta en marcha de las bombas de agua; encender los compresores de la etapa de alta; encender los compresores de la etapa de baja; encender las válvulas solenoides y bombas de inyección de refrigerante y conectar las cámaras de ambos sistemas. Elementos que pueden provocar pérdidas energéticas y que el modelo presentado optimiza de manera favorable.

## DESARROLLO

En el desarrollo del diseño de automatización se requirió del análisis y síntesis del sistema. Esto es posible con el uso del modelado formal en (Redes de Petri), de la planta industrial. Los modelos optimizados por medio de la verificación y validación del modelo formal se realizaron al tener en cuenta el uso de autómatas con la aplicación de la norma IEC1131, con sus ambientes de edición y simulación al utilizar el lenguaje LD con facilidades de simulación del funcionamiento en el ISAGRAF.

En el modelo de selección se estableció el modo de operación de la instalación, ver (Figura 1), cuenta con el panel selección donde están los lugares que representan el inicio, (arranque/parada), automático, manual, emergencia. En condiciones de arranque se debe activar el lugar inicio en la que se pudiera definir el modo de aplicación operación de la instalación (manual o automático). El diseño puede proceder a poder permitir que se originen procesos donde una mudanza de operación se realice sin necesidad o conformidad de realizar cortes a la buena ejecución del proceso.

Para detener el funcionamiento del proceso se puede activar el proceso de parada, para secuencialmente hacer la fase de parada normal y se podrá poner en marcha en cualquier momento y la otra es activar el lugar de emergencia en la que el sistema también se detendrá, al pasar a un estado de parada por emergencia produciéndose la detención total del sistema; pero con la particularidad que no se ejecuta ninguna secuencia, sino, que se produce una detención simultánea del sistema y este no se pondrá en marcha hasta tanto no se resuelvan los fallos que provocaron la parada por emergencia, y se desactiva dicho botón de emergencia por el operador, con el ahorro energético que conlleva.



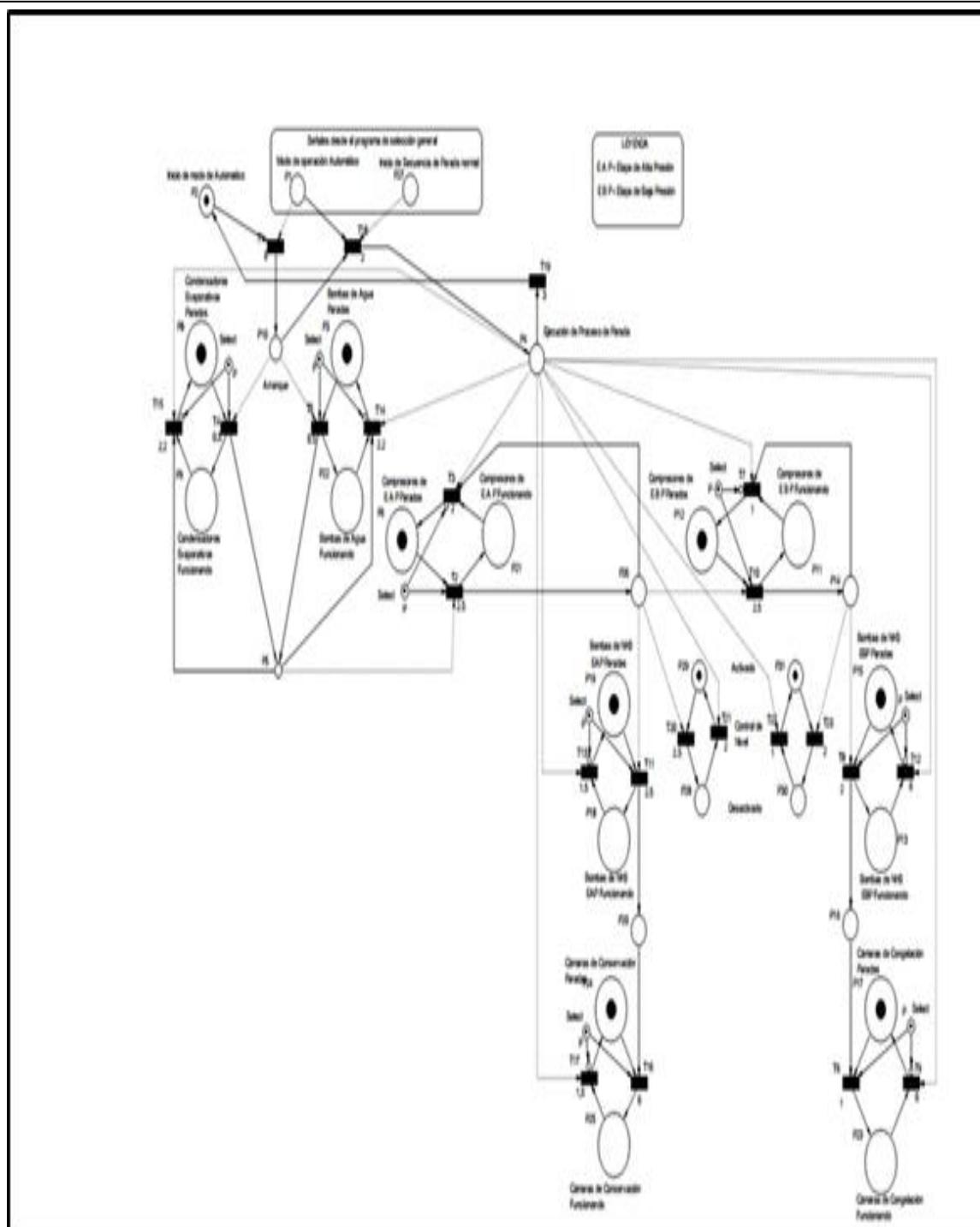
**Figura 1. Modo de selección. Fuente: (Autores, 2020).**

Los procesos de modelos de arranque y parada para el modo automático, se deben realizar al tener en cuenta que debe proceder a iniciarse por la etapa de alta presión. Este modelo manifiesta la secuencia para el arranque y parada en modo automático, (Figura 2).

Para poner en marcha los compresores de la etapa de alta presión; una vez que los compresores de la etapa de alta presión están en función, también se espera un tiempo al dar margen a que la presión de succión de dicha etapa disminuya hasta el valor normal de trabajo ( $2 \text{ kgf/cm}^2$ ), momento en el cual se activa el control de nivel en los recipientes separadores de líquido y se ponen en marcha las bombas de inyección de refrigerante de la etapa de alta.

De forma simultánea se ponen en marcha los compresores de la etapa de baja presión, mientras que en la etapa de baja presión se produce una espera hasta que la presión de succión alcance el valor de  $0.6 \text{ kgf/cm}^2$  donde se activa el control de nivel en los recipientes separadores de líquido y se ponen en marcha las bombas de inyección de refrigerante de la etapa de baja, y queda lista la instalación para la selección de las cámaras de congelación que entran en funcionamiento y con este procedimiento dar fin al proceso de puesta en marcha de la instalación.

Este proceso deberá provocar una eficiencia energética próxima al 52% y que es el objetivo en base al ahorro de portadores energéticos, cualquier modelo en materia de automatización es oportuno y pertinente mejorar los procesos industriales.



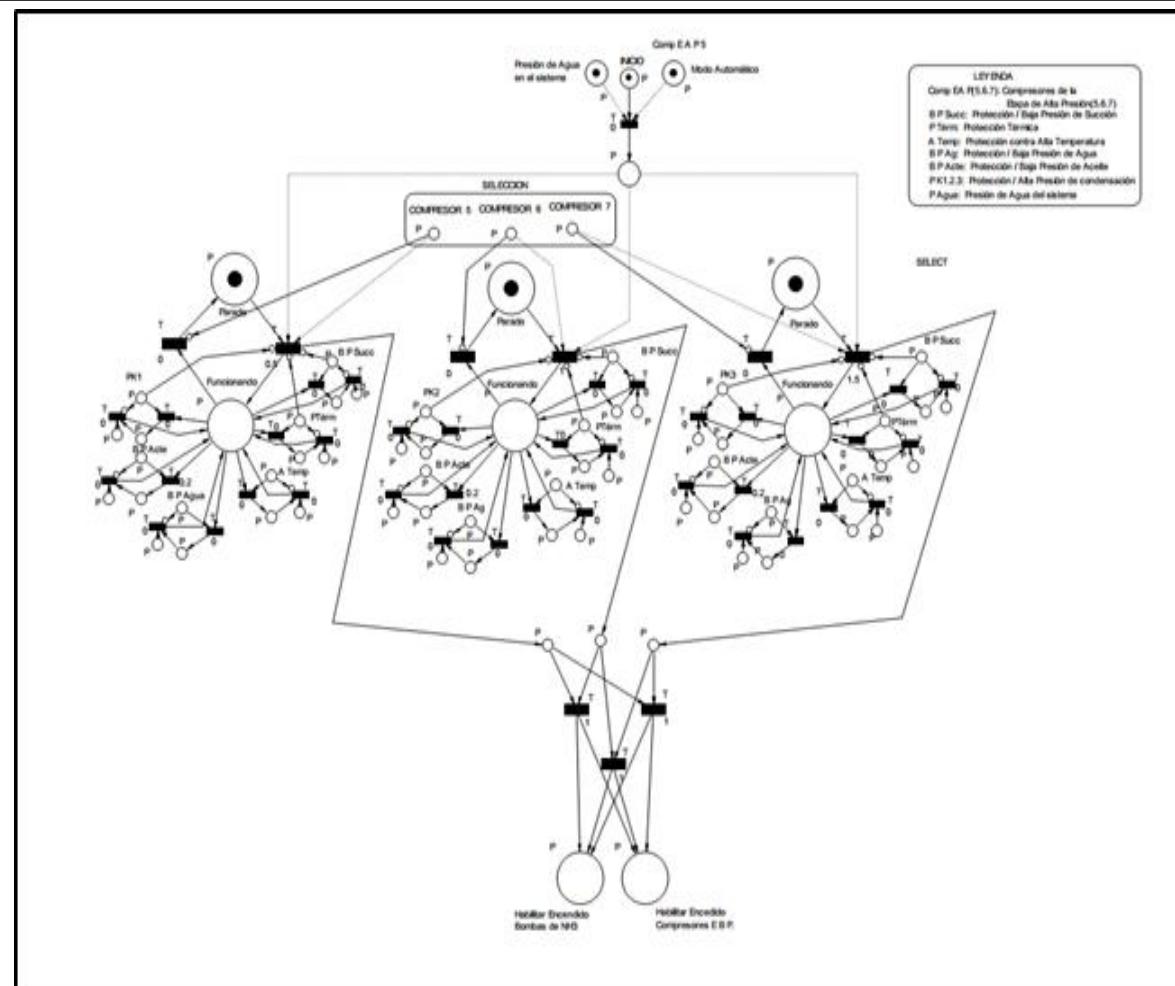
**Figura 2.** Parada en modo automático. Fuente: (Autores, 2020).

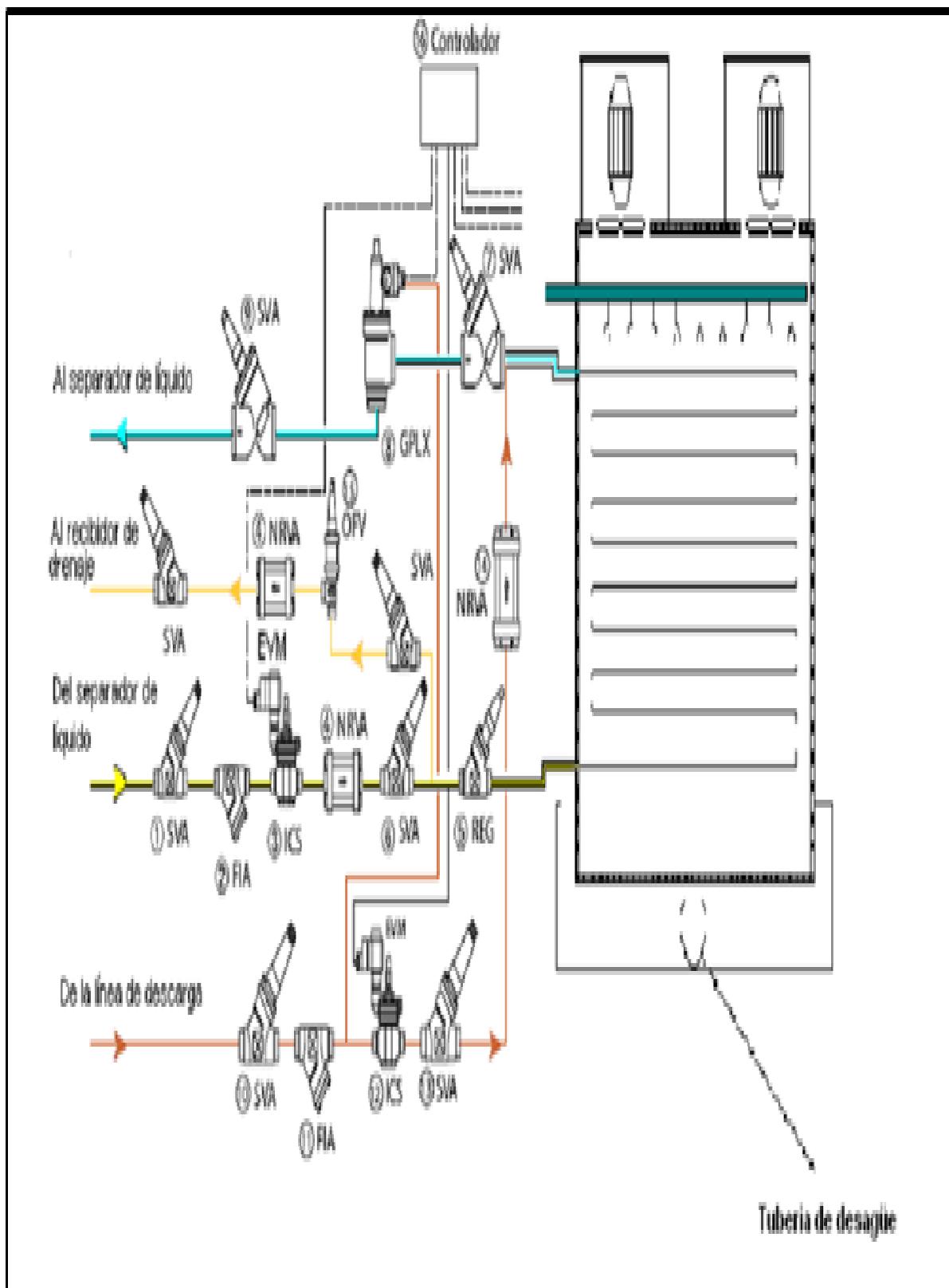
La solicitud de parada durante la operación en modo automático en caso de solicitar la parada normal de la instalación, la que tiene lugar al desactivar el botón arranque/parada en el modelo de selección general, se desactivará el modo de operación seleccionado y se activa el lugar de secuencia de parada normal; por lo tanto se desactiva el lugar correspondiente a este modo de operación en el modelo de secuencia de arranque automático, en el que además, se activará el lugar de inicio de parada.

Al suceder esto se inicia el proceso de parada; se realizarían todas las operaciones del proceso de arranque de manera inversa, o sea, se empieza el proceso paulatino de detención de la instalación por la etapa de baja presión al apagar las cámaras, bombas de inyección de refrigerante; luego se desactiva el control de nivel y se apagan los compresores, y queda apagado el sistema de baja presión e iniciándose de forma similar la secuencia de parada de la etapa de alta presión al continuar con el apagado de las bombas de agua y los condensadores evaporativos. El sistema queda parado por completo pudiéndose iniciar de nuevo la secuencia de arranque en cualquier momento, y ahorrándose una cantidad significativa de energía eléctrica.

Para la parada por emergencia, durante la operación cuando es solicitada la parada por emergencia se produce una interrupción del trabajo de la instalación en la que a diferencia del proceso de parada normal se detiene todo el sistema de manera simultánea; en el modelo de selección general se desactiva el modo de operación, se activa el lugar de parada por emergencia, y queda indicado que este ha sido activado, no pudiéndose iniciar el proceso de arranque hasta tanto no se desactive el lugar (botón) de emergencia, momento en el cual, se produce automáticamente el restablecimiento de las operaciones del sistema en el modo de operación al inicio seleccionado.

El modelo de los compresores (ver Figura 3), en modo automático se ejecuta si la presión de agua del sistema de enfriamiento es superior a la del valor de referencia y se tiene en cuenta que no debe efectuarse la puesta en marcha simultánea de los compresores seleccionados, para lo que se establece un tiempo de retardo entre el arranque de un equipo y otro. También se tienen en cuenta el estado de las protecciones de cada equipo, las que además de impedir el encendido del compresor en caso de fallo, también podrán sacarlo de servicio en caso de fallo durante el trabajo.





**Figura 4.** El modelo para el descarre o descongelación. Fuente: (Autores, 2020).

## CONCLUSIONES

Este trabajo presentó el diseño y proyección de un sistema de automatización para el control lógico secuencial de puesta en marcha, monitoreo y control de nivel de los recipientes.

---

La aplicación de este proyecto de automatización en el sistema con el empleo de un PLC real elevaría considerablemente la eficiencia energética de la instalación, al sincronizar y controlar las operaciones, disminuir el tiempo de ejecución de las operaciones de puesta en marcha y descarche de los evaporadores, así como la eliminación de las roturas que se pueden producir por los golpes hidráulicos.

Los modelos de simulación más conservadores al aplicarse este diseño indican un rango de optimización de energía eléctrica de entre un 30 % y un 40 % de la consumida en estos momentos, al realizarse un futuro diagnóstico energético a la fábrica y los procesos que se derivan del mismo, pudiera pronosticarse que esta aplicación automática debería superar el 50 % de efectividad en materia de optimización energética.

### Bibliografía

- Ávila, E., Benítez, I., Silva, J.R., y Villafruela, L. (2004). Síntesis de Programas de PLCs Modelados sobre Redes de Petri, Memorias XI Congreso Latinoamericano de Control Automático, CLCA'04, Mayo, La Habana, 2004.
- Benítez, I. (2000). Programación orientada a objeto con editor LD para PLCs. Memorias del Evento Automática 2000, Convención Internacional FIE2000, Santiago de Cuba, Cuba, julio 2000. ISBN: 848138-393-7. M – 28526 – 2000.
- Couto de Moraes, C. y de Castrucci Plinio, L. (2002). Ingeniería y Automatización Industrial. Editora LTC. Sao Paulo. Brasil. 2002.
- Miyagi Paulo, E. (1997). Controles Programables. Fundamentos de controles de sistemas a eventos discretos. Editorial Edgard Blucher. Ltda. Sao Paulo 1997.
- Murata, T. (1989). *Petri Nets: Properties, analysis and applications. Electrical Engineering Department and Computer Science. University of Illinois, Chicago. Proceedings of IEEE, vol. 77, No. 4, pp. 541-580, 1989.*
- Piedrahita, R. (1995). Ingeniería de automatización industrial". Editorial RAMA. España.
- Venkatesh, K; Zhou, M. and R. Caudill (1995). *Discrete event control design for manufacturing systems via ladder logic diagrams and PN. A comparative study. MC Zhou. PN in flexible and agile automation, pp 263-304 Kluwer academic publish.1995.*

## **Síntesis curricular de los autores**

MSc Franklyn González Segura: Profesor Auxiliar de la Universidad de Holguín, Cuba, desde el año 2003, profesor de la ESPtN Namibe, Angola, (2015-2019), y actualmente profesor de la Universidad (Lueji A'Nkonde) ESPLS, Angola, (2020). Master en Ciencias Técnicas. Ingeniero Eléctrico.

Doctor José Eduardo Márquez Delgado: Profesor Titular de la Universidad de Granma, Cuba, desde el año 2004, y actualmente profesor de la Universidad (Lueji A'Nkonde) ESPLS, Angola, (2020). Doctor en Ciencias Técnicas 2012. Master en CAD/CAM 2002. Ingeniero mecánico 1992.

MSc Juan Ramón Castillo Matos: Profesor Auxiliar de la Universidad de Moa, Cuba, desde el año 2010, y actualmente profesor de la Universidad (Lueji A'Nkonde) ESPLS, Angola, (2020). Master en Ciencias Técnicas. Ingeniero Mecánico.

Ingeniero Eléctrico Nelson dos Santos Castigo, aspirante al título de Mestre em Gestión Ambiental e Desarrollo Sustentável. Especialista principal de la Empresa PRODEL de la provincia Lunda Sul. Angola.