

## **TITULO**

“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE DE ALTA PRESIÓN DE LAS CORBETAS MISILERAS DE LA ARMADA DEL ECUADOR”

## **AUTORES**

Bryan Espinoza Estrella<sup>1</sup>. Eduardo Orces<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico 2000.

<sup>2</sup>Director de tesis, Bachelor of Science; Master en Ciencias en Ingeniería Mecánica, California Institute of Technology, USA.

## **RESUMEN**

El estudio se lo hace al sistema de aire de alta presión en las corbetas misileras de la Armada del Ecuador. Este sistema de aire trabaja con presiones elevadas de 206 bar, el cual sirve para suministrar aire comprimido al sistema de armamento y a los sistemas contraincendios:

Por razón del excesivo tiempo que tardaba el sistema en presurizarse cuando se requería usarlo, se optó en el año 95 por suministrar aire directamente del compresor a las diferentes unidades de servicio, evitando acumuladores, reductores de presión y filtros, por tanto el estudio desarrollado se orienta a puntos específicos tales como:

- Rehabilitación del sistema de aire de alta y su presurización permanente, para tener un tiempo de respuesta inmediato con un correcto uso del sistema.

- Secar el aire, para ello se diseña un secador por el sistema de enfriamiento, por lo que se logra poner en óptimas condiciones al aire comprimido con una baja temperatura, mejorando su caudal normal.
- Y finalmente se realiza el estudio para modernizar el sistema de control implementando un sistema de evaluación de fugas a través de un monitoreo continuo por medio de sensores analógicos y un controlador lógico programable PLC.

## **INTRODUCCIÓN**

Este estudio se lo realiza para poner en óptimas condiciones al sistema, con un correcto uso y además para proporcionar un sistema de evaluación de fugas a través de un monitoreo continuo por medio de sensores analógicos.

Para tener un correcto uso del sistema de aire de alta presión se lo habilitará en un 100%; actualmente se suministra aire comprimido directamente a las unidades que lo requieran, evitando pasar por los acumuladores y filtros, teniendo de esta forma problemas de condensado, de estabilización de suministro y partículas en suspensión.

Ya que el medio es marino, el aire presenta un alto índice de humedad, siendo esto observable en el drenado de condensado en los diferentes equipos. Para tener un sistema óptimo se ha visto la necesidad de implementar un secador, que debido a su alto costo se optó por diseñarlo.

Con el fin de obtener un sistema más seguro de control, se ha visto la necesidad de usar la tecnología del PLC y sensores analógicos, para, de esta forma sensor los parámetros de presión en las diferentes unidades de trabajo y planificar de una forma adecuada, en el tiempo correcto, el mantenimiento respectivo.

### **CONTENIDO**

Para contar con un sistema que trabaje en óptimas condiciones, cuente con un sistema moderno de evaluación de fugas y tengan un tiempo de respuesta inmediato en su uso, se ha requerido:

- Habilitar todo el sistema de aire de alta presión y presurizarlo permanentemente.
- Preparar o acondicionar el aire comprimido para su uso y
- Modernizar el sistema de control y de evaluación de fugas.

### **HABILITACIÓN DE TODO EL SISTEMA DE AIRE DE ALTA PRESIÓN Y PRESURIZACIÓN PERMANENTE**

Por los problemas y consecuencias que acarrea el desuso del acumulador, filtros y reductores de presión, es necesario habilitar y recuperar los elementos del sistema de aire de alta presión. Considerando además que la deshabilitación del sistema, se da por el tiempo excesivo que tardaba el equipo en llegar a presurizarse, se considera la presurización permanente del

sistema de aire de alta presión, para poder contar siempre con aire comprimido en las líneas en el momento en que se requiera usarlo.

A través del estudio de cantidad de masa de aire en el sistema, considerando además presiones mínimas de trabajo de cada una de las unidades que requieren aire comprimido de alta presión y la respectiva variación porcentual del cambio de presión a través de los reductores, se establece el rango de funcionamiento del compresor que va entre 185 bar a 206 bar

### **PREPARACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO DE ALTA PRESIÓN**

Para garantizar la fiabilidad del sistema neumático es necesario que el aire alimentado tenga un nivel de calidad suficiente. Ello implica considerar los siguientes factores como presión correcta, aire seco y limpio. Puesto que para la presión correcta se encargan los reductores de presión como sus acumuladores y para la limpieza del aire lo realizan los filtros, nos preocuparemos en el secado del aire para eliminar su humedad, consiguiendo de esta forma alargar la vida útil de los equipos neumáticos.

Debido al alto costo de los secadores que ofrece el mercado por el sistema de adsorción, se opta por diseñar un sistema de secado por enfriamiento.

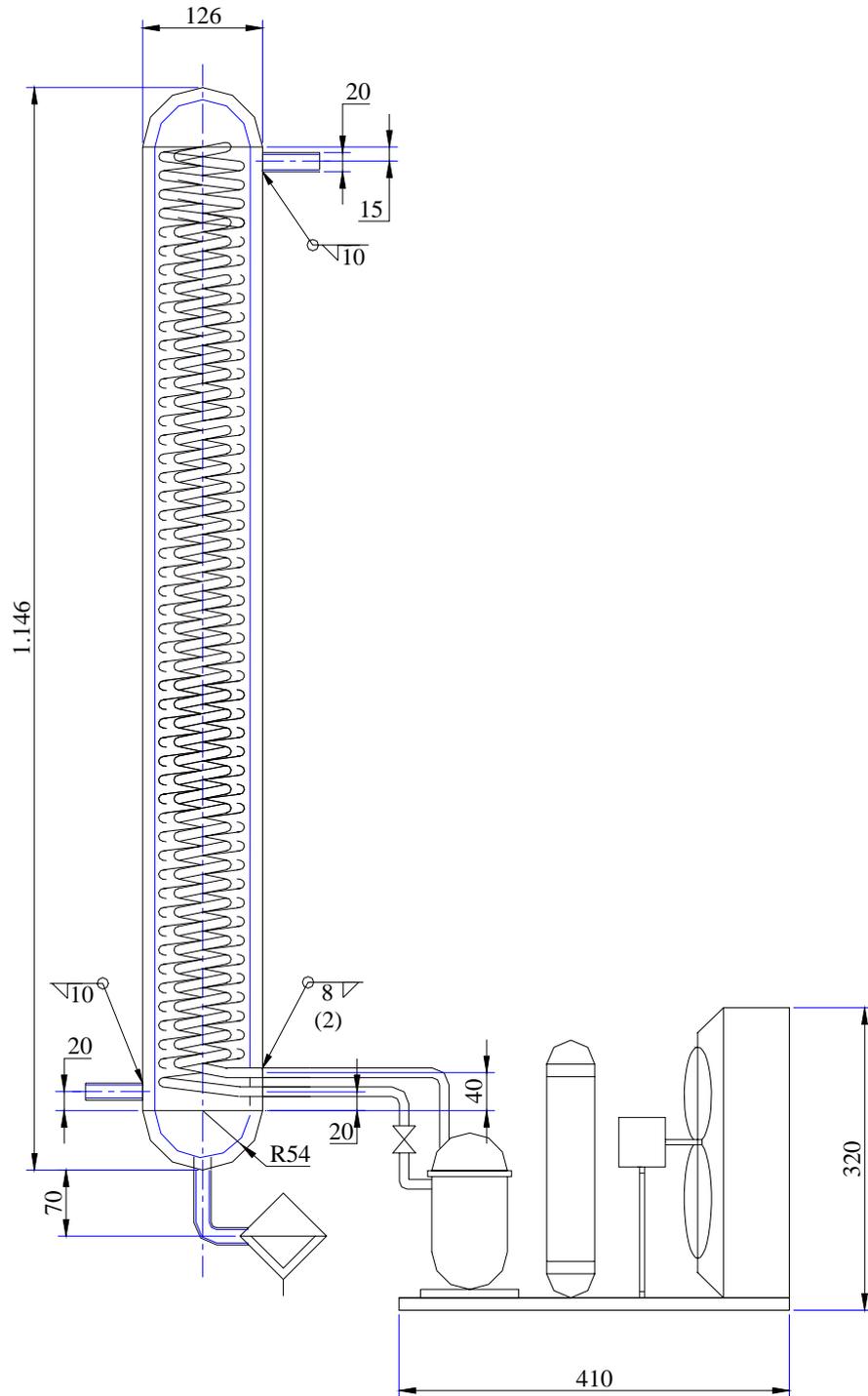
Para el diseño completo del sistema de secado de aire se considera:

- El diseño del intercambiador de calor

- La selección del equipo refrigerante y la
- Determinación del aislante térmico; este cubrirá al intercambiador para evitar pérdidas energéticas. En la figura 1 se presenta el diseño del sistema de secado.

**Intercambiador de calor:** Dentro de este diseño, esta:

- Diseño del espiral enfriador.- A través de los estudios de presión externa se determina el espesor mínimo que deberá tener el espiral para soportar la presión externa de 225 bar, que es la presión máxima que puede generar el compresor; su espesor mínimo fue determinado en 0.44 mm. Para la determinación de su longitud se realizan cálculos termodinámicos y de transferencia de calor, considerando el uso de refrigerante ecológico HFC-134a, las condiciones del aire a la salida del compresor y las condiciones de humedad ambiental más críticas en todo el año; se determina una longitud aproximada de 20 m.
- Diseño de la coraza del intercambiador de calor.- Para el cálculo del espesor, se toma en cuenta los esfuerzos realizados tanto en la parte cilíndrica como en la parte semiesférica, y de esta forma obtener el espesor indicado. En la sección cilíndrica luego de determinar los esfuerzos tangenciales, radiales y longitudinales se determina un espesor de 10 mm. De igual manera en la sección semiesférica después de hallar



**FIGURA 1** Sistema de secado por enfriamiento

los esfuerzos tangenciales, radiales y meridionales, se determina un espesor de 12 mm

Como espesor estándar en el intercambiador de calor para su construcción se considera 12 milímetros con acero AISI 1006 rolado en frío.

**Selección del equipo refrigerante.-** Para seleccionar la capacidad térmica del equipo de refrigeración es necesario considerar que este cubra la demanda exigida por el intercambiador de calor para llegar a los parámetros deseados, la demanda mínima analizada en los cálculos correspondientes fue de 675.54J/s equivalente a 2307 Btu/hr.

**Determinación del aislante térmico.-** Con el fin de obtener un óptimo aislamiento térmico se seleccionará uno, que evite pérdidas energéticas en el sistema de refrigeración. Para ello se selecciona un aislante térmico cuyo elemento constituyente es fibra de vidrio.

Para la correcta selección del espesor del aislante y considerando que la ganancia de calor no deberá superar el 20% de la capacidad del sistema de enfriamiento, definido esto como parámetro de diseño en la determinación del espiral enfriador, se realizarán los cálculos respectivos para un espesor de 13 mm (1/2", valor expuesto en el mercado)

El valor del calor radial transferido desde el exterior, considerando este espesor se encuentra dentro del 20% de la capacidad térmica del sistema por enfriamiento (112 J/s), por lo que aceptado.

## **MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL**

El mantenimiento del sistema de aire de alta presión actualmente se basa solamente en la inspección visual periódica por parte del operario hacia las unidades de servicio que requieren de aire comprimido. Para poder contar con un sistema de mantenimiento planificado se requerirá controlar y monitorear las presiones de las diferentes unidades y de esta forma generar un sistema de evaluación de pérdidas y fugas en el sistema. Para facilitar este trabajo se ha visto la necesidad de aplicar tecnología de punta, a través del uso del PLC y de sensores analógicos de presión.

El sistema de aire de alta presión estará monitoreado por los sensores-transmisores, los cuales enviarán señales analógicas lineales (4-20 mA) al PLC, el mismo que determinará si las pérdidas se encuentran dentro de límites aceptables o si estas son agresivas; cabe señalar que en todo sistema de aire comprimido existen fugas inevitables, las mismas que deben ser moderadas para que no exista un desperdicio de energía significativo, a esto nos referimos al hablar de límites aceptables.

Las fugas agresivas estarán determinadas con base en la caída de presión en función del tiempo, estas caídas de presión estarán bien diferenciadas entre las provocadas por las fugas aceptables y las provocadas por el suministro de aire comprimido a las diferentes unidades que lo requieran.

El PLC al determinar una caída de presión dentro del rango en el que se considere la presencia de una fuga agresiva, de forma inmediata enviará una señal a un monitor el mismo que estará ubicado en el cuarto de mando.

Se señala que el PLC al determinar la fuga agresiva provocará que todos los sensores en el monitor se enciendan conjuntamente, debido a que las caídas de presión se transmiten a lo largo de todo el sistema, por lo que en un principio no se podrá determinar la ubicación de la fuga, de ahí la necesidad de seccionar al sistema en diferentes tramos y poder evaluar fácilmente la localización de la fuga en caso exista.

Dentro de la modernización del sistema de control se considera:

- Seccionamiento del sistema y equipamiento.
- Determinación de rangos de caídas de presión y
- Diseño del sistema del sistema de control

**Seccionamiento del sistema y equipamiento.-** El sistema ha sido dividido en seis secciones; este seccionamiento se producirá a través de la energización de seis válvulas solenoides, cada sección contará con un sensor para su respectivo monitoreo.

**Determinación de rangos de caídas de presión.-** Para establecer los diferentes rangos de caídas de presión y de esta forma obtener los límites para la consideración de fugas agresivas, partiremos de dos condiciones:

- Establecer por experiencia la caída de presión por fugas aceptables que debería tener el sistema diariamente, la misma que se establece en 5 bar por día.
- Establecer la mínima caída de presión del sistema que se da por suministro de aire a las diferentes unidades.

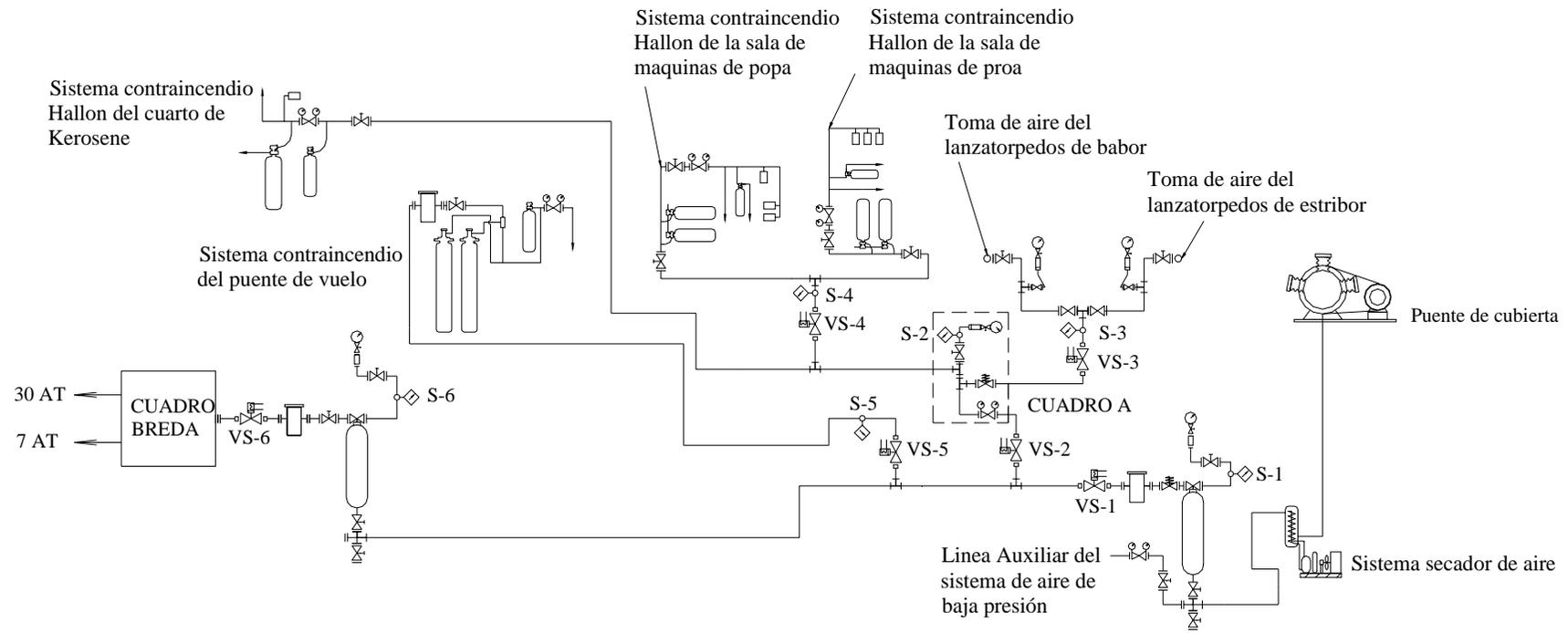
Este rango de presiones para cada sensor se lo establece con base en cálculos de cantidad de masa de aire. Los resultados son expresados en la tabla 1, y el seccionamiento del sistema en la figura 2.

**Diseño del sistema del sistema de control.-** El PLC medirá la señal analógica de cada uno de los sensores de presión, los mismos que en número son seis, distribuidos estratégicamente a lo largo de cada una de las líneas de aire de alta presión. La secuencia lógica se detalla a continuación:

**TABLA I**  
**RANGOS DE CAÍDAS DE PRESIÓN PARA FUGAS AGRESIVAS**

<b>Sección #</b>	<b>Detalle</b>	<b><u>mbar</u> min</b>
1	Compresor-Acumulador	3,5 < $\Delta P/t$ < 568
2	T 1-Cuarto Kerosene	2,3 < $\Delta P/t$ < 371
3	T 1 A-Sistema Lanzatorpedos	2,3 < $\Delta P/t$ < 371
4	T1 C-Sistema Hallon Popa Proa	2,3 < $\Delta P/t$ < 371
5	T 2-Sistema Twin Agent	3,5 < $\Delta P/t$ < 568
6	Acumulador 100 - Reductor Breda	3,5 < $\Delta P/t$ < 568





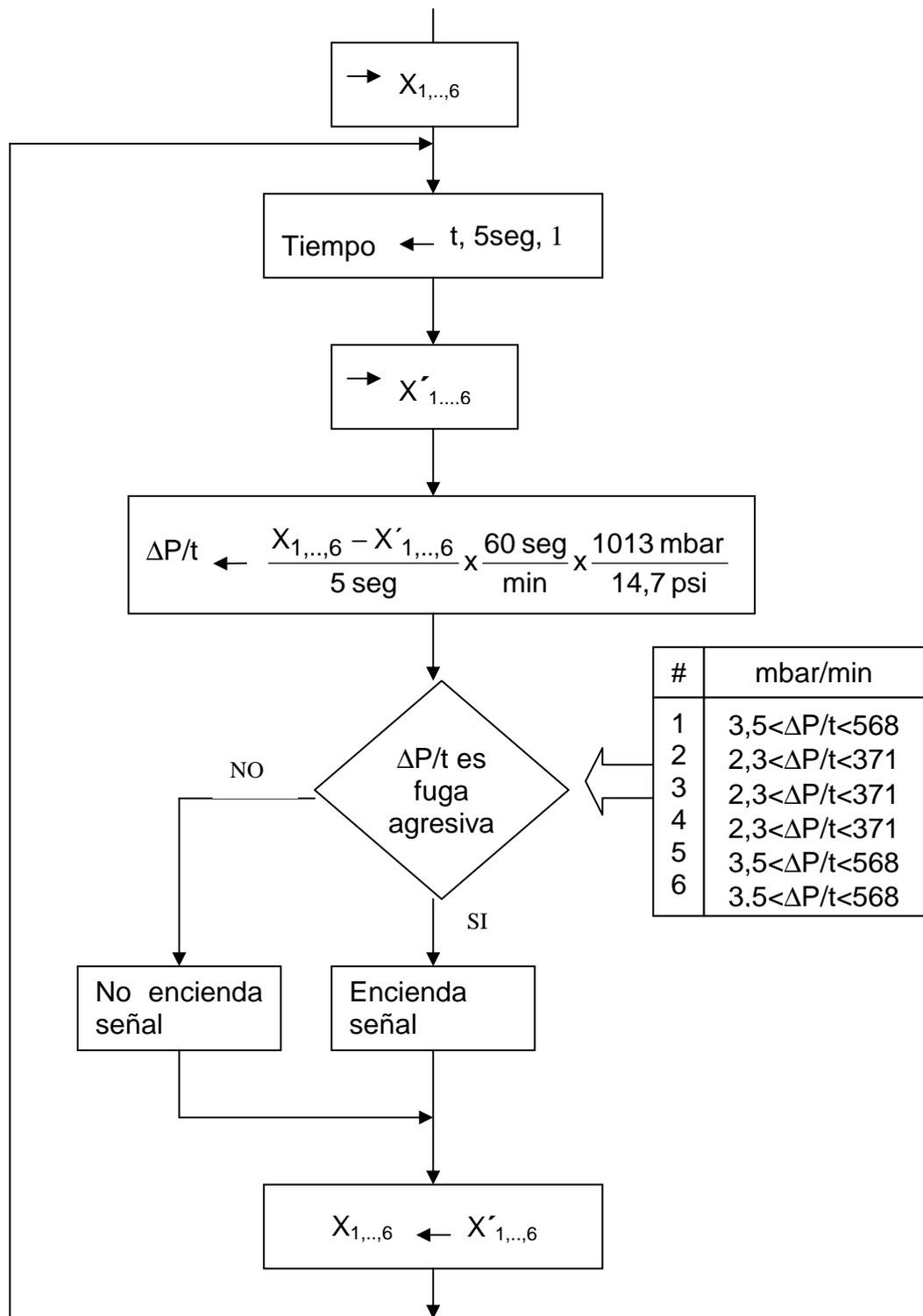
**FIGURA 2** Esquema del sistema de aire de alta presión monitoreado

- 1) Se medirá en un primer instante la presión de cada sensor.
- 2) Se esperará un lapso de tiempo de 5 segundos y se medirá nuevamente
- 3) Se realizará la diferencia entre estas presiones, la misma que será dividida para los 5 segundos, obteniendo de esta forma una caída de presión en función del tiempo.
- 4) Finalmente se realizará la conversión respectiva para obtener estas medidas en mbar/min, datos que serán comparados con el rango de presiones expuestas en la tabla 1. Al encontrarse dentro de este rango implicaría que existe fuga agresiva, por lo que su resultado se reflejará en el monitor.

En la figura 3 se presenta un diagrama de flujo del diseño del sistema de control.

## **CONCLUSIONES**

1. Se realizó el estudio respectivo para: La rehabilitación del sistema de aire de alta presión, la presurización permanente del sistema, el secado de aire y la modernización del sistema de control, cumpliendo de esta forma con la modernización de todo el sistema, esto permitirá dejar al sistema en óptimas condiciones y proporcionará además un sistema de evaluación de fugas utilizando tecnología de punta.



**FIGURA 3** Diagrama de flujo para la secuencia lógica del PLC

2. Para la rehabilitación del sistema se consideró el uso de las líneas existentes, optimizando así el diseño original del sistema, logrando de esta forma su correcto uso.
3. La permanente presurización del sistema, evitará el excesivo tiempo que tarda el sistema para presurizarse y luego de ello usarlo.
4. El uso del controlador propio del compresor de acuerdo al estudio, deberá ser calibrado con un rango de operación de 185 bar a 206 bar, de esta manera mejorará las condiciones de operación del sistema.
5. Para la preparación del aire, se diseñó un sistema de secado de aire por enfriamiento, el que consistió en el diseño de un intercambiador de calor, el que permitirá deshumificar el aire. Además se seleccionó una unidad de refrigeración, la misma que trabajará con HFC-134a que no es contaminante.
6. En el diseño del intercambiador de calor se considera una posición vertical, lo que facilitará un inmediato desalojo del condensado.
7. Para la modernización del sistema de control, se contempló la selección de seis sensores de presión, seis válvulas solenoides y el controlador

lógico programable PLC, los que permitirán detectar deterioros y fugas de forma inmediata en el sistema.

8. El sistema de refrigeración de aire diseñado, es aplicable a otros sistemas de aire de alta presión instaladas en las unidades navales, lo que permitirá dar solución a problemas de aire húmedo.

### **REFERENCIAS**

- 1 Joseph Edward Shigley y Charles R. Mischke. Diseño en Ingeniería Mecánica. (5ta edición; México; MCGRAW-HILL, 1986).
- 2 Frank Incropera P. Y David P. De Witt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. (3ra edición; Singapore: JOHN WILEY y SONS, 1990).
- 3 P. Croser. Sistema para enseñanza de la técnica de automatización (2da edición; FESTO DIDACTIC, 1991).
- 4 Faires Virgil-Simmang Clifford. Termodinámica. (1ra edición; México, UTEHA NORIEGA EDITORES. 1993).
- 5 Impianto aria compressa A.P e B.P. Elaborado por CANTIERI NAVALI RIUNITI. Génova 5/1983.
- 6 Timothy J. Maloney. Electrónica Industrial Moderna. (3ra edición; Prentice Hall Hispanoamérica, 1996).