



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**“EL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LÍQUIDO  
POR PRESIÓN DE GAS, DESDE UN ANÁLISIS  
EN SUS APLICACIONES PRÁCTICAS EN LA  
INDUSTRIA FRIGORÍFICA”**

**PUBLICACIÓN**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A:

**MANUEL ALARCÓN LÓPEZ**

ASESOR: I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2005



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos:

La publicación: El sistema de recirculación de líquido por  
presión de gas, desde un análisis en sus  
aplicaciones prácticas en la industria  
frigorífica.

que presenta el pasante: Manuel Alarcón López

con número de cuenta: 8239206-6 para obtener el título de:  
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 03 de Junio de 2005.

PRESIDENTE IA. Alfredo Alvarez Cárdenas

VOCAL Dr. José Luis Arjona Román

SECRETARIO IA. Laura Margarita Cortazar Figueroa

PRIMER SUPLENTE IA. Francisco Javier López Martínez

SEGUNDO SUPLENTE IA. Víctor Manuel Avalos Avila

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi madre.** María, a cinco años de tu partida, he cumplido la promesa. Tu amor y recuerdo viven perennemente en mí y siguen dando frutos como éste.

**A mi padre.** Este trabajo es un reconocimiento a tu lucha y a tu apoyo constante, desmedido e incondicional. Por que de ti aprendí el orgullo que sigue dando pie a ésta, nuestra historia sin tiempo. Por ambos, muchas gracias en VIDA.

**A mi familia: Lolita y Regina María.** Por el profundo amor que me inspiran y la invaluable confianza que me regalan. Este es un paso más que logro, con la fuerza e inspiración de nuestra familia.

**A Francisco y Federico.** Mi mejor conexión con mi pasado y mi futuro. Gracias Hermanos.

**A mis familiares.** Trini, Guadalupe, Paquito, Ana, Lupe, Micha, Bembeño, Roberto, Kika, Gina, Yeyo's, Caro y Paco, porque la unión es hoy nuestra fuerza, para un mañana promisorio.

**A Alfredo Álvarez.** Tu guía y enseñanza son parte fundamental de mi desarrollo académico y profesional.

**A los ingenieros Blásquez.** Ingeniero Alberto: aún en su ausencia seguiré siempre su ejemplo de luchador incansable. Ingeniero Adolfo: gracias por dirigirme todos estos años, pero sobre todo, muchas gracias por ser mi amigo.

**A mis amigos.** Verdaderos compañeros de brega durante todo este andar: Jano, Michaus, Pato, Memo, Pancho, Juan León, Javier Soto, Toño Salas, Javier Moreno, Horacio, Oscar, Juan Manuel, Arturo, Alí, Juan Carlos y Paco Moreno.

**A mi querida Universidad.** Porque en la academia, en lo profesional y hasta en el estadio, siga resonando el Goya, para que por la raza siga siempre... hablando el espíritu.

## INDICE

Título y Resumen .....	21
Introducción .....	23
Marco Teórico .....	26
Sistema de recirculación por presión de gas con recipiente de presión constante .....	30
Aplicaciones .....	34
Análisis comparativo ente el sistema recirculado por presión de gas y el sistema por bombas .....	42
Conclusiones .....	46
Recomendaciones .....	48
Bibliografía .....	49
Diagramas y Tablas .....	51

# TRABAJOS TÉCNICOS

VIGÉSIMA SÉPTIMA REUNIÓN ANUAL

International Institute of Ammonia Refrigeration

13 al 16 de marzo de 2005

2005 Ammonia Refrigeration Conference & Exhibition  
Fairmont Acapulco Princess  
Acapulco, México

2005 Ammonia Refrigeration Conference & Exhibition  
Acapulco, México

## **AGRADECIMIENTO**

El éxito del programa técnico de la vigésima séptima reunión anual del International Institute of Ammonia Refrigeration se debe a la calidad de los trabajos técnicos en este volumen. El IIAR agradece a los autores, críticos, y redactores por sus contribuciones a la industria de la refrigeración con amoníaco.

Junta de directores, International Institute of Ammonia Refrigeration

## **SOBRE ESTE VOLUMEN**

Los trabajos técnicos del IIAR son sometidos a un juicio crítico riguroso por miembros de la industria.

Las ideas y opiniones expresadas en los trabajos son de los autores, no del International Institute of Ammonia Refrigeration. No son posiciones oficiales del Instituto y no son oficialmente respaldados.

## **REDACTORES**

M. Kent Anderson, Presidente  
Chris Combs, Coordinador de proyectos  
Gene Troy, P.E., Gerente técnico

International Institute of Ammonia Refrigeration  
1110 North Glebe Road  
Suite 250  
Arlington, VA 22201  
U.S.A.

+ 1-703-312-4200 (teléfono)  
+ 1-703-312-0065 (fax)  
[www.iiar.org](http://www.iiar.org)

2005 Ammonia Refrigeration Conference & Exhibition  
Fairmont Acapulco Princess  
Acapulco, México

## Trabajo técnico #2

# El sistema de recirculación de líquido por presión de gas, desde un análisis en sus aplicaciones prácticas en la industria frigorífica

Manuel Alarcón López  
A. Blasquez E. Refrigeración Industrial, S.A. de C.V.  
México D.F.

### Resumen

*El sistema de recirculación de líquido por presión de gas con recipiente de presión constante, destaca entre los métodos de alimentación a evaporadores como una alternativa que ha demostrado ser muy factible en los ámbitos técnico-económicos; además, proporciona soluciones redituables en sus diferentes aplicaciones en instalaciones frigoríficas monovalentes y polivalentes. Este trabajo presenta, desde un análisis en sus aplicaciones prácticas, al sistema antes mencionado, y propone una serie de conclusiones y recomendaciones útiles para el aprovechamiento óptimo de la tecnología frigorífica disponible. En la actualidad, resulta indispensable la difusión de ejercicios analíticos técnicos que fundamenten su seriedad en el hecho de aportar elementos de juicio a ingenieros de diseño y usuarios finales, en pro de una mejor elección del sistema de recirculación a utilizar.*

*2005 IIAR Ammonia Refrigeration Conference & Exhibition, Acapulco, México*

## **Introducción**

La refrigeración industrial es hoy en día, una de las aplicaciones más importantes en la industria alimentaría.

Una de las características que distinguen a estas aplicaciones es la utilización del sistema de producción de frío por compresión mecánica, a través del uso extensivo de amoníaco como refrigerante.

La relación entre instalaciones industriales que utilizan amoníaco u otros tipos de refrigerantes, se inclina de manera muy considerable a las primeras. Las plantas de producción de frío que utilizan el amoníaco son por lo general de gran tamaño, funcionan a bajas temperaturas y exigen ser sistemas flexibles en relación a modificaciones y ampliaciones futuras, es decir y a manera de resumen, representan sistemas polivalentes y de gran capacidad, cuya condición requiere de una operación eficiente y un desempeño térmico adecuado.

Es bien sabido que Latinoamérica, casi por condición histórica, ha basado su economía en la producción de materias primas, motivo que la convierte en un amplio territorio de instalaciones frigoríficas, las cuales son utilizadas en procesos de enfriamiento, congelación y/o conservación de productos perecederos. No obstante, es también una realidad que un gran número de instalaciones presentan serias deficiencias técnico-operativas, que se originan desde su diseño, selección de equipamiento, instalación, operación y mantenimiento.

Como en muchos otros campos del quehacer científico de México, se carece de estudios técnicos suficientes que aporten, desde una visión integradora, las aplicaciones del sistema recirculado por presión de gas. Motivo por el cual se requiere, desde mi particular óptica y a manera de punto de partida, generar estudios técnicos que promuevan el uso eficiente de sistemas recirculados y de la tecnología frigorífica disponible.

Existen diversas firmas y compañías en nuestro país que ofrecen servicios técnicos para el diseño, instalación y puesta en marcha de sistemas frigoríficos, sin embargo no todos representan el suficiente respaldo técnico que garantice la rentabilidad de dichos sistemas, situación que hace necesario fomentar entre fabricantes de equipos, ingenieros de diseño, contratistas y usuarios finales, la responsabilidad de apoyar sistemas planificados que respondan operativa y energéticamente a las diversas aplicaciones y requerimientos del sector industrial nacional.

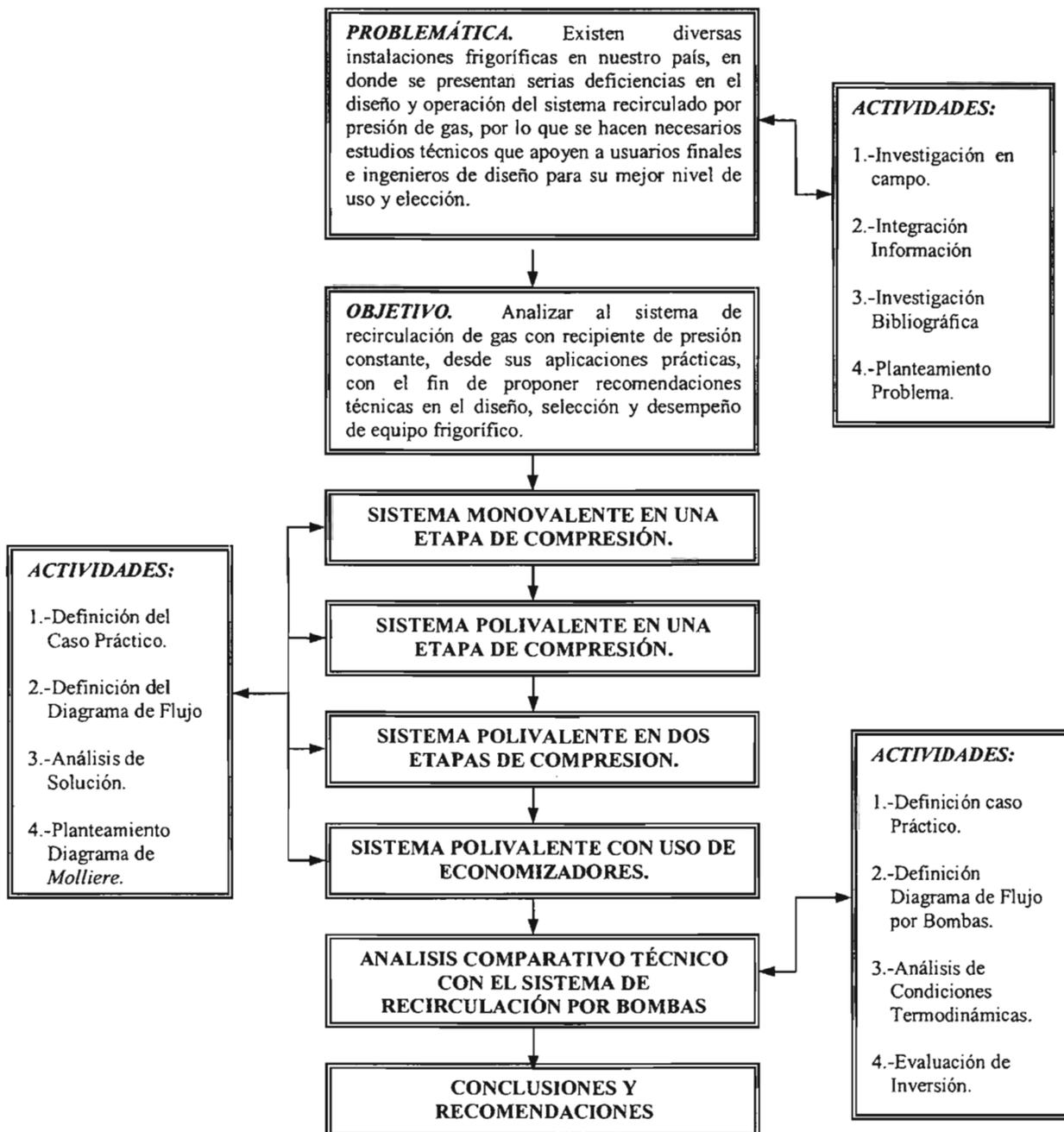
El sistema de recirculación por presión de gas, utilizado ampliamente en industrias mono y polivalentes, representa hoy un campo poco difundido, situación que da sustento al presente trabajo, el cual pretende, a partir de un análisis en sus aplicaciones prácticas, aportar suficientes elementos de juicio de carácter técnico y de aplicación, que apoyen al ingeniero frigorista y a usuarios finales, ofreciéndoles un espectro de oportunidades para la aplicación y solución de sus sistemas de producción de frío.

Se pretende que un análisis termodinámico del método y sus posibles comparaciones sirva como soporte de éste estudio, a manera de herramienta de análisis de los diagramas de *Molliere* de las aplicaciones y soluciones presentadas en él.

Es importante resaltar que el *International Institute of Ammonia Refrigeration* (IIAR) no publica un artículo técnico referido al tema objeto del presente estudio desde 1991, cuando *James D. Wright* se encargó de difundirlo. De ahí que consideramos oportuno, necesario e importante, difundir esta información en países en donde el sistema se utiliza extensivamente, a fin de promover su adecuada y segura aplicación.

Como colofón a este trabajo, se expone un análisis comparativo con el sistema de bombas que, mediante la presentación de ciertos sistemas utilizados a manera de ejemplos concretos, permita generar conclusiones y proponer recomendaciones útiles para el mejoramiento en su aplicación.

### Cuadro metodológico



## **Marco teórico**

### *Sistemas mono y polivalentes (monotemp y politemp)*

Pese a que no existe una clasificación precisa de diferenciación en este campo específico, podemos sin embargo, mediante una recopilación de las diversas aplicaciones, definirla y resumirla como:

Instalación frigorífica monovalente (monotemp). Sistema de producción de frío en una o dos etapas, resuelto para producir un nivel controlado de temperatura y presión de evaporación en todas sus aplicaciones frigoríficas.

A manera de antecedente a esta definición, puede por un lado estar ligada con el proceso de enfriamiento o almacenamiento de una misma especie de producto en toda la planta o al de diferentes especies a un mismo nivel de temperatura de conservación o enfriamiento. En la actualidad estas instalaciones son utilizadas en aplicaciones de almacenamiento de productos perecederos frescos o congelados o bien, en aplicaciones especiales como los casos de la industria embotelladora, el almacenamiento de frutas, de productos pesqueros congelados, o todas aquellas instalaciones de producto refrigerado o congelado de diferentes especies en el mismo espacio o temperaturas de operación.

Instalación frigorífica polivalente (politemp). Sistema de producción de frío en una o dos etapas de compresión, que opera a diferentes niveles controlados de temperatura y presión de evaporación, considerando iguales o diferentes aplicaciones frigoríficas. En lo general esta definición puede ser relacionada a la aplicación de frío de una misma especie a diferentes temperaturas o diferentes especies a diversas temperaturas u otras aplicaciones frigoríficas tanto en el ámbito de refrigeración como el de la congelación de productos.

La mayoría de las instalaciones actuales pueden ser ubicadas en el sector antes mencionado. Son en general, plantas de transformación en donde se utilizan diferentes aplicaciones en temperatura, así como diferentes procesos de aplicación de frío (conservación, enfriamiento y congelación). También pueden ser utilizadas en instalaciones donde existan varios evaporadores de alta capacidad, lo cual, puede resultar ventajoso en términos económicos en relación a otros métodos de alimentación.

Este documento presenta tres aplicaciones polivalentes como lo son: una planta procesadora de porcinos (cinco niveles controlados de temperatura), una planta congeladora de fresa (cinco niveles de temperatura con aplicaciones de frío diferentes) y un frigorífico de renta (dos niveles de temperatura con dos aplicaciones frigoríficas diferentes).

### *Métodos de alimentación a evaporadores*

Existen tres métodos principales de alimentación en líquido, los cuales tienen que ver directamente con factores como: la capacidad de enfriamiento, temperatura de aplicación, tecnología del equipo de intercambio, transferencia de calor, costos de inversión y operación. Dichos métodos, también representan un desarrollo tecnológico en la búsqueda del nivel óptimo en la capacidad de intercambio de calor, la cual dependerá de cada aplicación en específico, de tal forma que encontraremos siempre instalaciones mono y polivalentes que utilizan diferentes sistemas de alimentación a evaporadores en una misma instalación, por lo que es fundamental distinguirlos en sus principios de funcionamiento, operación y aplicación.

**Expansión directa.** Sistema en el cual el refrigerante por evaporar es alimentado en relación uno a uno, por lo que prácticamente el líquido que ingresa al equipo de intercambio es evaporado completamente. Normalmente va asociado con controles como la válvula de expansión termostática o controladores con bajo efecto de

recalentamiento. Generalmente se utilizan en instalaciones de amoníaco con aplicaciones en temperaturas de operación mayores a 32°F y en donde las cargas térmicas no son grandes, ya que el mecanismo de transferencia de calor provoca equipo de intercambio con mayor área de esta transferencia. Concretando, típicamente se puede utilizar en las siguientes aplicaciones: Áreas de empaque, áreas de corte, andenes de carga y descarga, áreas de proceso, cámaras pequeñas de conservación de producto refrigerado, entre otras.

**Inundado.** Sistema que logra que el serpentín de intercambio se encuentre totalmente inundado por gravedad de líquido a la presión y temperatura de evaporación, siempre será asociado con un recipiente que permite tener el nivel de líquido por arriba del evaporador, manteniendo como constante, llena la superficie de intercambio por diferencias en su nivel. Esta posibilidad provoca mejora en las velocidades de intercambio en relación al método anterior. El recipiente que va asociado, también permitirá una separación del vapor producido durante el proceso de enfriamiento, lo cual nos da una condición más segura en su operación con respecto al sistema de compresión.

Puede ser utilizada en altas o bajas temperaturas y para mayores capacidades de enfriamiento. Actualmente su principal aplicación está dirigida a equipo de enfriamiento de líquido como: Bancos de hielo, enfriadores de agua o glicol instantáneos, túneles IQF de congelación y *carbocoolers*.

Para enfriadores de aire, su utilización no es tan extensiva debido a que se vuelve poco práctica la utilización de diversos recipientes de inundación, a pesar de que se puede utilizar en forma común para una misma aplicación. Considerando los diámetros de tuberías para alimentar y recolectar refrigerante del evaporador, este hecho puede provocar un encarecimiento sobre todo para unidades que pretendan ser descarchadas por gas caliente.

**Recirculado.** Se explica considerando una sobrealimentación de refrigerante al equipo de intercambio, provocando una alta velocidad del refrigerante en el evaporador, con lo que mejora en forma importante la velocidad de transferencia de calor en el equipo. Dicha velocidad aumentará las caídas de presión, por lo que es importante calcular de forma particular, la relación de recirculación más apropiada para cada instalación.

Existen diferentes métodos de recirculación de líquido a evaporadores.

- a) Recirculación por bombas (sistema mecánico)
- b) Recirculación por presión de gas (sistema termodinámico)
  - b.1 Recirculación con presión basculante.
  - b.2 Recirculación con presión constante.
    - b.2.1. Recirculación con presión regulada.
    - b.2.2. Recirculación alternativa.
      - b.2.2.1. Modificación *Malicki-Lage*

Dichos métodos, generalmente son utilizados para aplicaciones de baja temperatura, pero también cuando las capacidades de extracción de calor son de gran capacidad y alta temperatura. Existe una nutrida discusión sobre que método es el más conveniente desde el punto de vista térmico, operativo y de eficiencias, sin embargo, dados los diversos factores que intervienen en cada proceso, existen limitadas recomendaciones de cuando utilizar uno u otro.

Hoy en día, el uso de estos sistemas es extensivo siendo regularmente dirigidos a instalaciones polivalentes de gran capacidad con aplicaciones en alta y baja temperatura, no obstante, desde nuestro punto de vista, no es recomendable la mezcla de diferentes métodos de recirculación en un mismo sistema, excepto que, las aplicaciones así lo exijan. Es objeto de este estudio, abordar algunas aplicaciones del sistema recirculado por presiones, utilizando el sistema de presión constante y regulada.

## **Sistema de recirculación por presión de gas con recipiente de presión constante**

Durante el desarrollo de las variantes en el sistema de recirculación por presión de gas, James D. Wright describe cronológicamente la experiencia americana en su artículo publicado en 1991, en el cual, cita la participación importante de ingenieros como: *Harry A. Phillips, Jack Watkins, Bill Richards, Herb Rosen, Bob Ross, Rowe Bansch* y el mismo autor. También existen aportaciones muy importantes de *Eugeeniuzs Malicki, y Juan Carlos Lage Soto* que ofrecen modificaciones que son hoy ampliamente utilizadas, como es el sistema de presión basculante y la alimentación alterna al circuito de evaporadores. Dentro de estas variantes y amén de delimitar nuestro estudio, utilizaremos en su aplicación el concepto de “Recipiente de Presión Constante” (*Bob Ross 1959*) el cual, de acuerdo a nuestra investigación en campo, es sumamente utilizado y que opera actualmente, en un número importante de instalaciones.

### *Elementos fundamentales en el sistema de recirculación por presión de gas con recipiente de presión constante*

El sistema se fundamenta en la utilización de los elementos que enlistamos a continuación y que son indispensables para poder llevar a cabo el manejo de la sobrealimentación de líquido que se transporta a evaporadores y que, para una mayor comprensión del lector, se presenta en el diagrama 1.

**Recipiente piloto (RPL)**. Su función es regular la cantidad de líquido entre el sistema de condensación y recipiente de presión controlada, éste, recibe líquido saturado a la presión de condensación y va asociado con la operación de una válvula flotadora de alta presión, que controla, junto con la válvula check, el nivel de líquido del recipiente y consecuentemente la cantidad de líquido que se alimenta al recipiente de presión constante (ver diagrama 1). Dicho recipiente recibe el flujo de refrigerante del sistema de condensación, permitiendo una diferencia de presión

entre el condensador y recipiente de presión constante. Como parte importante en el funcionamiento de este aparato, opera la válvula check pilotada, que controla el paso de líquido provocando a su vez una pre-expansión del líquido de presión de condensación a la presión que espera el recipiente de presión constante.

Recipiente de presión constante (RPC). Elemento fundamental en la operación del sistema, recibe el líquido pre-expansionado del recipiente piloto y almacena refrigerante para que se asegure la alimentación de líquido a evaporadores. Dicho recipiente opera una presión controlada que generalmente oscila entre 20 a 25 lbs/in<sup>2</sup> por arriba de la presión correspondiente a la temperatura de evaporación de la aplicación a la cual se esté dando servicio. Desde este recipiente se alimentará el amoníaco en exceso a cada uno de los evaporadores del sistema que sean alimentados con recirculación de líquido.

La alimentación de líquido a evaporadores se lleva a cabo por diferencia de presiones, enviando una mayor cantidad de la que puede ser evaporado en las aplicaciones. De igual forma en el recipiente se lleva a cabo un sub-enfriamiento interno útil, como consecuencia de recibir el líquido enviado por los tanques de transferencia (trampa *Phillips*) los cuales, retornan el exceso de líquido enviado a evaporadores. Este subenfriamiento interno útil es aprovechado en los evaporadores del sistema, logrando una mejor condición en el intercambio y retiro de la carga térmica (ver diagrama 1).

Asociado a este recipiente, existe un control de regulación de presión que permite mantener una presión de alimentación de líquido constante hacia evaporadores, en forma independiente a la variación de la presión de condensación. Generalmente la tasa de recirculación que alimenta es de 3:1. Necesariamente este tanque deberá ser aislado térmicamente para proteger el sub-enfriamiento interno.

Evaporador (EV). Su función es llevar a cabo el intercambio de calor que provoca la evaporación del refrigerante a presión y temperatura constante, recibe del recipiente

de presión constante una sobrealimentación de líquido sub-enfriado que permite retirar una mayor cantidad de calor por unidad de masa de refrigerante. Previo al evaporador, se llevará a cabo el proceso de expansión que provoca una mezcla de líquido vapor a una presión correspondiente en la cual, el refrigerante iniciará su proceso de cambio de fase. La sobrealimentación de líquido mejora los coeficientes de intercambio, favoreciendo la eficiencia global de transferencia de calor. Si la tasa de recirculación de líquido es de 3:1, una parte del flujo alimentado se evapora y dos partes se mantienen como líquido que sufre un proceso de subenfriamiento al pasar por el evaporador. Los evaporadores son diseñados para provocar una mínima caída de presión.

**Acumulador de succión (ACS).** Tiene la función principal de llevar a cabo la separación de fases vapor-líquido, para asegurar que el sistema de compresión quede protegido de la llegada de líquido, recolecta a su vez el retorno de evaporadores recibiendo un exceso de líquido; y una parte de vapor, por la diferencia de densidades, el vapor es separado físicamente para que el sistema de compresión succione la cantidad de refrigerante evaporada en el sistema (ver diagrama 1). El acumulador de succión opera a la presión de evaporación más baja de las aplicaciones conectadas al mismo. Su adecuado dimensionamiento permitirá la operación segura de los compresores que succionen del aparato. Asociado a este recipiente se encuentran dispositivos de control que protegen al sistema de compresión, permiten la evacuación del aceite arrastrado por el líquido y alimentan por gravedad el exceso de líquido a las trampas de transvase (*Phillips*). También deberá tener la capacidad para recibir cierta cantidad de líquido atrapada en evaporadores en el caso de que se pretenda efectuar un vacío en la zona.

**Tanques de transferencia (TPH).** Comúnmente conocidas como trampas *Phillips*, tienen la función de transferir el líquido en exceso del acumulador de succión al recipiente de presión constante. El alivio del líquido del acumulador hacia la trampa se lleva a cabo por gravedad considerando dos condiciones fundamentales: la instalación de una línea igualadora y una diferencia de alturas entre aparatos. Para

que la trampa sea llenada con el líquido excedente tendrá que ser ubicada por debajo del acumulador de succión. Una vez llena ésta, es detectado el nivel de líquido a través de un dispositivo de nivel que envía una señal a la válvula de tres vías para que inicie la alimentación de vapor a alta presión, considera su estado físico y la diferencia de presión genera un efecto pistón que impulsa y vacía la trampa enviando el líquido al recipiente de presión constante. Una vez terminada la transferencia, el gas atrapado en la trampa es retornado al acumulador cuando da inicio nuevamente el proceso de igualación de presiones. Asociado a esta operación existen dos válvulas check que son fundamentales para el adecuado transvase de líquido, una en la línea de llenado de la trampa que evita que el líquido transferido retorne al acumulador de succión y la segunda que evita que el del recipiente de presión constante se regrese a la trampa o sea llenado por la descarga de otras trampas con diferentes presiones de evaporación. Es muy importante poner especial cuidado en las válvulas check, ya que, junto con los dispositivos de nivel, son la principal causa de falla en estos sistemas de sobrealimentación.

A continuación enlisto las ventajas que han destacado en el sistema, por la eficacia en su funcionamiento.

- Incremento de los coeficientes de transferencia al aumentar la velocidad del refrigerante por el serpentín de evaporador.
- Incremento del efecto refrigerante considerando que los evaporadores reciben una sobrealimentación de líquido sub-enfriado.
- Se alimenta el líquido a una presión constante y controlada, que es independiente a los cambios que puede tener la presión de condensación.
- Protege la operación de compresiones, asegurando que reciban únicamente vapor saturado a la presión de evaporación correspondiente, protegiéndolas de los retornos súbitos de líquido.
- Considerando la velocidad del refrigerante por los serpentines, el aceite es arrastrado hasta el acumulador de succión donde puede ser purgado, mejorando así, las condiciones de intercambio en el evaporador.

- Los componentes que utiliza para su operación son totalmente convencionales y fáciles de conseguir.
- El sistema es totalmente hermético. En su funcionamiento no existen partes en movimiento, excepto los pistones de válvulas y flotadores ya que para el transporte de líquido todo se lleva a cabo por diferencia de presiones.
- Reporta bajos costos de mantenimiento debido a la sencillez de sus componentes, recipientes a presión y dispositivos convencionales de flujo y control.

## **Aplicaciones**

### *Sistema monovalente (monotemp) en una etapa de compresión*

La aplicación presentada del sistema de recirculación expresada gráficamente en el diagrama 2, en el cual se detalla con el diagrama de flujo correspondiente, una instalación que da servicio a un almacén de producto congelado como aplicación. El sistema opera con un solo nivel de temperatura y presión de evaporación (-23°F, 2.2 psig) cuya aplicación se resuelve utilizando un solo acumulador de succión (ACS1), el cual operará con las condiciones antes mencionadas.

El recipiente de presión constante (RPC) alimenta líquido en exceso a todos y cada uno de los evaporadores, teniendo una expansión previa en cada uno de ellos. Esta expansión se llevará desde la presión de RPC, hasta la presión de evaporación que esté operando el evaporador. La solución presentada utiliza también un recipiente piloto (RPL) como el recipiente termosifón, que se ocupa para dar servicio a los intercambiadores de calor para el enfriamiento de aceite por termosifón. El RPL tiene que ser dimensionado para que contenga la suficiente cantidad de líquido a enfriadores de aceite y como sello de líquido para alimentar el flujo evaporado al RPC. En esta aplicación se presentan tres evaporadores que darán servicio al almacén de producto congelado, cuya selección se realizó para retirar la carga

- Los componentes que utiliza para su operación son totalmente convencionales y fáciles de conseguir.
- El sistema es totalmente hermético. En su funcionamiento no existen partes en movimiento, excepto los pistones de válvulas y flotadores ya que para el transporte de líquido todo se lleva a cabo por diferencia de presiones.
- Reporta bajos costos de mantenimiento debido a la sencillez de sus componentes, recipientes a presión y dispositivos convencionales de flujo y control.

## **Aplicaciones**

### *Sistema monovalente (monotemp) en una etapa de compresión*

La aplicación presentada del sistema de recirculación expresada gráficamente en el diagrama 2, en el cual se detalla con el diagrama de flujo correspondiente, una instalación que da servicio a un almacén de producto congelado como aplicación. El sistema opera con un solo nivel de temperatura y presión de evaporación (-23°F, 2.2 psig) cuya aplicación se resuelve utilizando un solo acumulador de succión (ACS1), el cual operará con las condiciones antes mencionadas.

El recipiente de presión constante (RPC) alimenta líquido en exceso a todos y cada uno de los evaporadores, teniendo una expansión previa en cada uno de ellos. Esta expansión se llevará desde la presión de RPC, hasta la presión de evaporación que esté operando el evaporador. La solución presentada utiliza también un recipiente piloto (RPL) como el recipiente termosifón, que se ocupa para dar servicio a los intercambiadores de calor para el enfriamiento de aceite por termosifón. El RPL tiene que ser dimensionado para que contenga la suficiente cantidad de líquido a enfriadores de aceite y como sello de líquido para alimentar el flujo evaporado al RPC. En esta aplicación se presentan tres evaporadores que darán servicio al almacén de producto congelado, cuya selección se realizó para retirar la carga

térmica total del espacio. La presión de evaporación de esta aplicación será controlada por el sistema de compresión por lo que el ACS1 deberá trabajar con este mismo valor.

El dimensionamiento volumétrico del RPC, RPL, ACS y TPH deberán corresponder con la capacidad térmica del sistema y condiciones de operación. El retorno de la trampa (TPH1) se presenta en una línea independiente que va directamente al RPC.

Para mantener la presión del RPC se presenta línea del RPC al ACS1 con un dispositivo de regulación que permitirá el ajuste de la presión con lo que pretende operar el RPC. Esta línea aliviará la presión hacia el ACS1, sin llegar a afectar significativamente la presión de evaporación de ACS1.

Los evaporadores son descargados con gas caliente proveniente del cabezal general de descarga del compresor, esta línea también es utilizada para alimentar las trampas de transvase (TPH) y el líquido recolectado retorne al RPC.

Como se puede observar, la solución es simple para aplicaciones monovalentes que operan con un solo nivel de presión y temperatura. El número de compresores, condensadores y evaporadores para este tipo de soluciones, podrán variar dependiendo de la capacidad del sistema y del grado de parcialización y seguridad que demande el proyecto.

Como complemento, presentamos un diagrama de Molliere en donde exponemos los cambios termodinámicos más importantes que presenta el refrigerante durante la operación del sistema, el cual se presenta considerando únicamente caídas de presión en la tubería de succión y descarga. Es importante tener el conocimiento para representar el diagrama, debido a que éste nos permite representar en forma gráfica los cambios termodinámicos del refrigerante en cada uno de los procesos del sistema; nótese como se representó el subenfriamiento interno en el recipiente de presión constante, así como las diferentes caídas de presión en tuberías (ver diagrama 7, figura 1).

### *Sistema polivalente (politemp) en una etapa de compresión*

El diagrama 3 presenta la aplicación para un sistema con diversos niveles de temperatura y presión de evaporación. Se trata de una planta procesadora de carne porcina la cual opera con 20 espacios refrigerados independientes y diferentes entre ellos. La instalación presenta, en resumen, varios niveles de temperatura ejemplificados en el diagrama; varían entre: 50°F, 45°F, 37.4°F y 32°F, como toda temperatura de aplicación, éstas han sido agrupadas en el sistema de media temperatura. Existe también otra aplicación con diferente nivel de presión y temperatura de evaporación correspondiente al enfriamiento rápido que es denominado en el sector de baja temperatura.

La aplicación del sistema de recirculación se fundamenta en seleccionar únicamente dos niveles de temperatura y presión de evaporación, la diferencia entre el nivel de media temperatura (22°F y 35.7 psig) y baja temperatura (0°F y 15.7 psig) justifica plenamente la separación física de los sistemas, utilizando dos acumuladores de succión (ACS1 y ACS2) con trampas de transvase (TPH1 y TPH2) independientes (ver diagrama 2).

La temperatura y presión de evaporación deberán ser seleccionadas en función de la aplicación con menor temperatura de cada sección. En este caso, el nivel de media temperatura está regido por las aplicaciones con temperatura de 32°F y la de baja temperatura por aplicación del enfriamiento rápido. De acuerdo a las cargas térmicas de las diferentes aplicaciones, no se justifica la división de un tercer nivel de temperatura y presión, sin embargo, queda la posibilidad abierta de que se pueda considerar un tercer nivel tomando en cuenta las cargas térmicas. Previo a la definición y agrupación de estos niveles se realiza un estudio en relación al efecto que tiene el hecho de agrupar aplicaciones en el sistema de compresión. Si la carga térmica y nivel de temperatura no son significativamente diferentes se justifica el retorno común hacia el acumulador de succión. La solución también presenta la posibilidad de un crecimiento futuro sin alterar o modificar la separación de los

niveles de operación, para ello, es indispensable conocer desde el inicio el nivel de expansión que tendrá la instalación.

El sistema por recirculación permite, si así se requiriese, un crecimiento modular previamente establecido en el dimensionamiento de recipientes y tuberías. La solución de aplicación del recipiente piloto, recipiente de presión constante, acumuladores de succión y trampas de transvase no cambia en su interconexión dentro del sistema, únicamente puede variar las dimensiones de los aparatos. Nótese que a pesar de que se tienen dos niveles de presión y temperatura de evaporación, se centraliza la descarga de compresores, uniendo los flujos de refrigerante correspondientes hacia el sistema de condensación. El RPC en esta aplicación se presenta en forma vertical con utilización en espacios restringidos de cuarto de máquinas. El cabezal general de descarga de las trampas es común y está preparado para recibir una expansión futura, es importante considerar la posibilidad de una descarga simultánea de ellos hacia el RPC. La línea que utilizamos para aliviar el RPC es conectado a los dos acumuladores de succión, para que el sistema pueda operar en sus niveles de temperatura y presión en forma independiente. Esta solución proporciona la posibilidad de que la planta únicamente opere con el nivel de media o baja temperatura.

Se presenta nuevamente una solución con el enfriamiento termosifón utilizando el RPL como el aparato que alimenta y recibe el refrigerante en el proceso de enfriamiento de aceite.

Estrictamente el sistema podrá operar con un solo nivel de presión y temperatura, no obstante, los gastos de energía y tamaños de los equipos crecerían significativamente. Lo anterior justifica ampliamente la inclusión de dos acumuladores de succión.

En la figura 2 del diagrama 7 se muestra el diagrama de *Molliere* de la instalación presentada y en él se indican claramente los dos niveles de evaporación en los

cuales van agrupadas todas las aplicaciones del frío; de igual forma, se muestra dos secciones independientes a diferentes condiciones de operación, nótese como el líquido sub-enfriado que se alimenta a evaporadores es expansionado a diferentes presiones que corresponden a los niveles de operación pre-seleccionados.

### *Sistema polivalente (politemp) en doble etapa de compresión*

La aplicación que se presenta se expone en el diagrama 4, y corresponde a una planta congeladora de fresa, en donde existen aplicaciones como: congeladores tipo *blast freezer*, almacenes de producto congelado, cámaras de producto terminado (refrigeración) y dos tipos de enfriamiento de agua (banco de hielo y enfriador instantáneo).

En esta aplicación, se combinan tres métodos de alimentación a evaporadores: expansión directa (cámara de refrigeración), inundado (banco de hielo y enfriador instantáneo) y recirculadores (*freezer* y cámara de producto congelado). En sistemas polivalentes es muy común la necesidad de combinar métodos de alimentación a evaporadores; sin embargo, es necesario poner especial atención en la forma óptima en su interconexión.

El sistema de baja temperatura *freezer* y cámara de producto congelado están siendo alimentados por recirculación, por lo que se presenta un acumulador de succión y trampas *Phillips* comunes, que operan a la temperatura y presión de evaporación del *freezer*. Es posible, dependiendo de los valores de carga térmica que tengan las aplicaciones de baja temperatura, separar por presión y temperatura, utilizando un segundo acumulador de succión.

Esta última alternativa nos conlleva también a separar las succiones de los compresores de primera etapa. La solución presentada expone una succión general considerando que la carga térmica de los almacenes de producto congelado es mucho menor en relación a la capacidad del *freezer*. Todos los evaporadores de baja

temperatura son alimentados directamente del RPC y enviados, previa evaporación, a un acumulador de succión común de donde succionan compresores de primera etapa (ver diagrama 4).

El retorno de las aplicaciones de alta temperatura, tienen regreso al inter-enfriador, considerando que es únicamente vapor saturado a la presión correspondiente; por lo tanto, no es necesario un método de recirculación de líquido. Recordemos que la expansión directa y el sistema inundado no trabajan con retorno de líquido. Para esta aplicación, el sistema de enfriamiento de aceite es presentado por inyección de líquido, el cual, es alimentado desde el recipiente piloto, considerando que opera con presión y temperatura de condensación, condición muy favorable para la válvula de expansión termostática del sistema de enfriamiento de aceite de los compresores. Es necesario prever nuevamente un adecuado dimensionamiento del recipiente piloto, para dejar una reserva de líquido para el enfriamiento de aceite de compresores. En caso de que las aplicaciones de alta temperatura tuviesen que ser alimentadas por recirculación, sería necesario la inclusión de un acumulador de succión con trampa *Phillips* operando también como inter-enfriador. El inter-enfriador (IC) tipo abierto (*flash*) no alimenta líquido a ninguna aplicación, permite a su vez la presión intermedia pero sobre todo se encuentra diseñado para la eliminación del sobre-calentamiento de los vapores de compresores de primera etapa y asegura que los compresores de segunda etapa operen con vapor saturado.

La línea de alivio del RPC únicamente está conectada con el inter-enfriador (IC); para que el sistema tenga presión controlada de alimentación es necesario entonces, que operen compresores de primera y segunda etapa. En caso de que exista la posibilidad de que los compresores de tornillo de segunda etapa puedan succionar directamente del acumulador de baja temperatura, se hace necesario interconectar también la línea de alivio del RPC al ACS3. Los fines de semana, es cotidiano que únicamente operen los almacenes de producto congelado, por lo que el sistema puede modificarse a un sistema monovalente en una etapa de compresión.

Considerando la capacidad del sistema y volumen de líquido por recircular, se utilizan dos trampas (TPH1 y TPH2) las cuales están ajustadas para que operen alternadamente.

En el diagrama *Molliere* presentado en la figura 3 del diagrama 7, se representa el sistema de doble etapa. Se muestran en él, únicamente tres niveles de temperatura, condensación, intermedia y temperatura de evaporación del *freezer*, la temperatura del almacén de producto congelado trabaja en la línea de evaporación del *freezer*.

Nótese que el líquido sub-enfriado en el RPC es aprovechado también en el interenfriador por lo que el proceso de enfriamiento que se da en el tanque es muy efectivo. La presión y temperatura intermedia está directamente relacionada con la presión y temperatura con la que opera el banco de hielo, para este caso, representa la temperatura y presión más baja de las aplicaciones de refrigeración.

#### *Sistema polivalente (politemp) con uso de economizer*

La aplicación propuesta se presenta en el diagrama 5; se diseñó el sistema para dar servicio a dos *freezers* y un almacén de producto congelado. La instalación tiene dos niveles de temperatura y presión de evaporación, separados físicamente en sus líneas de succión por dos acumuladores independientes que darán servicio a las aplicaciones mostradas. Aunque las cargas térmicas en las aplicaciones no son diferentes, sí existe una diferencia significativa en las presiones y temperaturas de evaporación de cada nivel, que reflejan a su vez, un fuerte impacto en la selección de compresores y consumo de energía.

El sistema de recirculación como tal, es en realidad muy similar a otras aplicaciones, sus componentes son exactamente los mismos, únicamente varían en dimensiones y diámetros de las válvulas con los que opera el sistema. La solución presentada es un tanto repetitiva en cuanto a la distribución y separación de los niveles de

temperatura; sin embargo, es necesario, antes que nada, definir esta separación evaluando y analizando su impacto en el sistema de compresión seleccionado.

La variante de esta solución es la posibilidad que proporciona la utilización de los puertos laterales de compresores como economizadores, donde el recipiente de presión constante se utiliza como un economizador general de instalación que permite también un subenfriamiento interno del líquido que alimentará a evaporadores.

Se está conectando una línea de succión del RPC a cada una de los puertos laterales en compresores, recibiendo una carga a una temperatura y presión correspondiente, favorable a la operación del RPC. Para este caso sería mucho más recomendable disminuir la presión del RPC, para aprovechar de mejor forma el subenfriamiento interno. Es importante informar al fabricante del equipo, cuando se pretenda utilizar el puerto lateral como economizador, la temperatura, presión y carga que llevará el sistema.

La combinación del sistema de recirculación por presión y economizador únicamente es factible y aprovechable de la forma en que se presenta en el diagrama; no es recomendable combinar los economizadores tipo DX y cerrado, debido a que la temperatura de alimentación del RPC es menor que la que puede lograr el intercambiador de calor para el tipo DX, como parte del paquete de compresión. De hecho, se realizó un análisis donde se encontró que el líquido que alimenta al economizador tipo DX llegaría a una temperatura de  $-12^{\circ}\text{F}$ , por lo que no podría ser sub-enfriado aún más por este sistema. Es importante instalar elementos de regulación de presión para controlar la presión de vapor entrando al puerto lateral. La línea de alivio que se interconecta a los puertos laterales del compresor, también es interconectada a los dos acumuladores de succión, buscando siempre que el recipiente pueda operar con presión controlada.

Se presenta el diagrama de *Molliere* (ver diagrama 7, figura 4) mostrando los principales cambios que sufre el refrigerante. Nótese que se muestra la línea de succión de los puertos laterales hacia compresores.

Esta última aplicación y su solución serán utilizadas como referencia para el análisis comparativo con el sistema de bombas.

### **Analisis comparativo entre el sistema recirculado por presión de gas y el sistema por bombas**

A efecto de ofrecer un complemento al presente estudio, se efectuó un análisis comparativo general entre el sistema recirculado por presión de gas con presión constante y el sistema por bombas, en el cual se tomaron en cuenta dos aspectos fundamentales: el cálculo de las condiciones termodinámicas del sistema y la evaluación de la inversión inicial para el suministro e instalación de cada equipo. Para darle cauce práctico a la intención anterior, se diseñó un sistema por recirculación por bombas utilizando compresores tipo tornillo con economizadores tipo DX, (ver diagrama 6) utilizando idénticas condiciones de operación como: cargas térmicas y condiciones de presión y temperaturas de evaporación (sistema polivalente en una etapa de compresión). Como se puede observar en el diagrama 6 también se propone la separación por presión y temperatura de succión, para las respectivas aplicaciones como el caso de un almacén de producto congelado y *freezer*. El enfriamiento de aceite de compresores también es por termosifón. A diferencia del sistema presentado en el diagrama 5, para esta solución aparecen el recipiente termosifón y un recipiente de alta presión. La propuesta del sistema por bombas (diagrama 6), compite con el sistema presentado en el diagrama 5, por lo que a partir de dichos diagramas de flujo, se calcularon y evaluaron criterios técnicos-económicos que nos proporcionaron mayores elementos de análisis entre sistemas.

Se presenta el diagrama de *Molliere* (ver diagrama 7, figura 4) mostrando los principales cambios que sufre el refrigerante. Nótese que se muestra la línea de succión de los puertos laterales hacia compresores.

Esta última aplicación y su solución serán utilizadas como referencia para el análisis comparativo con el sistema de bombas.

### **Análisis comparativo entre el sistema recirculado por presión de gas y el sistema por bombas**

A efecto de ofrecer un complemento al presente estudio, se efectuó un análisis comparativo general entre el sistema recirculado por presión de gas con presión constante y el sistema por bombas, en el cual se tomaron en cuenta dos aspectos fundamentales: el cálculo de las condiciones termodinámicas del sistema y la evaluación de la inversión inicial para el suministro e instalación de cada equipo. Para darle cauce práctico a la intención anterior, se diseñó un sistema por recirculación por bombas utilizando compresores tipo tornillo con economizadores tipo DX, (ver diagrama 6) utilizando idénticas condiciones de operación como: cargas térmicas y condiciones de presión y temperaturas de evaporación (sistema polivalente en una etapa de compresión). Como se puede observar en el diagrama 6 también se propone la separación por presión y temperatura de succión, para las respectivas aplicaciones como el caso de un almacén de producto congelado y *freezer*. El enfriamiento de aceite de compresores también es por termosifón. A diferencia del sistema presentado en el diagrama 5, para esta solución aparecen el recipiente termosifón y un recipiente de alta presión. La propuesta del sistema por bombas (diagrama 6), compite con el sistema presentado en el diagrama 5, por lo que a partir de dichos diagramas de flujo, se calcularon y evaluaron criterios técnicos-económicos que nos proporcionaron mayores elementos de análisis entre sistemas.

### Condiciones termodinámicas

A partir de los diagramas de *Molliere* presentados en las figuras 4 y 5 del diagrama 7, se determinaron todas las propiedades termodinámicas (entalpías, volumen específico, temperaturas y presiones) para cada sistema, utilizando los mismos valores de carga térmica y condiciones de operación. De igual forma se realizó un balance de masa y energía para obtener los flujos máxicos de las principales corrientes que intervienen en el proceso termodinámico de cada aplicación.

El resultado de este amplio análisis se presenta en la tabla 1 en la cual, únicamente mostramos las variables más importantes que desde nuestra óptica aportan una visión más clara, a la hora de realizar la diferenciación entre sistemas.

Como se puede observar, el sistema por bombas utiliza un 4.5% menos de flujo máxico total evaporado que el sistema por presión de gas con presión constante, debido fundamentalmente a que la temperatura con la que es alimentado el refrigerante líquido al evaporador presenta un mayor sub-enfriamiento en el sistema de bombas (-27°F y -45°F), mientras que para el sistema por presión constante es más alto (-12°F).

Por lo que respecta a los volúmenes desplazados de refrigerante por medio de los compresores y de acuerdo a las condiciones obtenidas en el diagrama de *Molliere*, se obtiene que el sistema por bombas requiere 5% menos para las aplicaciones de *freezer* y 3.9% para la aplicación del almacén de producto congelado. Esta diferencia está directamente relacionada con la variación presentada en los flujos máxicos evaporados. Este último resultado nos sugiere que los compresores de tornillo pudiesen ser más grandes en el sistema recirculado por presión de gas, situación que puede confirmarse en la selección de equipo de compresión.

El trabajo de compresión total obtenido para cada sistema también es mayor para el sistema de recirculación por presión constante (4.6%) por lo que se requiere de mayor energía global para llevar a cabo el mismo trabajo. Si los expresamos en BHP (potencia al freno) existe una diferencia de 18.19 BHP totales, considerando la comparación en relación al 100% de la capacidad de la instalación.

Con el sistema de recirculación por presión constante, se obtienen una relación 0.60 TR/BHP, mientras que para el sistema por bombas es de 0.66 TR/BHP es decir, un 10% más. El coeficiente de operación (COP), es también ligeramente mayor en el sistema de bombas. Desde esta perspectiva y considerando los resultados obtenidos presentados en la tabla 1, podemos asumir, tomando en cuenta los aspectos termodinámicos y considerando los parámetros de cálculo utilizados, que el sistema por bombas presenta mejores valores en este rubro que el de presión constante; no obstante, es indispensable completar el análisis con un estudio económico a fin de aportar más elementos de peso a la decisión final.

### *Inversión inicial*

Con objeto de complementar el ya mencionado análisis, se efectuó una evaluación de los costos de inversión inicial, que se requieren para poner en operación ambos sistemas, utilizando obviamente las mismas aplicaciones, condiciones de operación y cargas térmicas. Para lo anterior, se realizó una selección integral de equipo, la cual incluye: compresores, condensadores, evaporadores, válvulas, controles, recipientes a presión y diámetros de tuberías, utilizando los equipos estándares que ofrece el mercado y siguiendo fielmente las soluciones presentadas en los diagramas de flujo 5 y 6. También se evaluaron los costos de instalación para el montaje y puesta en marcha de cada sistema, utilizando los mismos criterios y normas especificados por IIAR. Los resultados de la selección de equipo integral se presentan en la tabla 2, indicándose el número y capacidad de cada equipo de acuerdo a su función en el sistema.

Como se puede observar y considerando valores aplicables en México, la inversión inicial requerida para un sistema de bombas es 14% mayor que para el sistema por presión constante, presentado una diferencia de \$111,383.17 USD, cantidad digna de considerarse en el momento de la toma de decisiones.

La tabla 2, muestra que las capacidades de compresión para el sistema por bombas es un 12% mayor al sistema por presiones, esta diferencia se debe a las capacidades que reportan los diferentes fabricantes de máquinas, de acuerdo a los modelos estándares con los que se seleccionaron. Es oportuno acotar que este excedente del sistema por bombas no necesariamente podrá ser aprovechado en el sistema de evaporación.

Por otro lado, al momento del ejercicio de selección de equipo de compresión, nos resulta que son los mismos modelos, con la diferencia que en el sistema de bombas se utiliza el *economizer* tipo DX y en el sistema por presiones funciona como *economizer* el recipiente de presión controlada (RCP).

La diferencia total entre ambos sistemas en términos de inversión, es de un 14%, distribuido de la siguiente forma: compresores de tornillo 6% más alto para el sistema mecánico, condensadores evaporativos 3% más alto para bombas, en evaporadores no existe diferencia, recipientes a presión 4 veces más alto el costo para bombas, válvulas y controles 50% más alto para el sistema de presión constante y la inversión para la instalación completa y puesta en marcha de los sistemas es de 6% más alto para presión constante.

Un punto que resalta este análisis comparativo es la diferencia de inversión inicial entre los recipientes que utilizan el sistema por bombas y el de presión constante, situación que impacta en la diferencia total del proyecto, esta partida ocupa el 84%. El resto del equipo esta distribuido por: compresores (15% mayor para bombas), condensadores (2.69% mayor para presión constante), evaporadores (0%), y dispositivos de control (23.3% mayor para presión constante).

Considerando los resultados obtenidos y concentrándonos específicamente en las soluciones presentadas en los diagramas 5 y 6, la inversión inicial más alta para esta instalación corresponde al sistema polivalente con economizer y bombas.

## **Conclusiones**

De acuerdo a la investigación de campo realizada en nuestro país (250 instalaciones visitadas), podemos concluir que es fundamental el mayor conocimiento de las ventajas y desventajas de cada sistema, durante su aplicación en el diseño de instalaciones, con el fin de que los usuarios tomen la mejor decisión para su proyecto.

El sistema por presión de gas con recipiente de presión constante ha demostrado que puede ser utilizado ampliamente en instalaciones mono y polivalentes teniendo capacidad para cubrir un gran porcentaje de las aplicaciones presentes en el área industrial alimenticia e incluso aquella que no pertenece a este sector.

Es importante mencionar también que existen otras alternativas de suma relevancia en los métodos de sobrealimentación especificados en la clasificación de este trabajo, y que son utilizados ampliamente en la industria, situación que hace necesaria una mayor difusión ente especialistas.

La utilización de *economizer* para instalaciones que utilizan compresores de tornillo con sistemas de presión constante, queda supeditado necesariamente al uso del recipiente de presión controlada del sistema, a manera de aparato economizador.

El entendimiento y comprensión del diagrama de *Molliere* debe constituirse como una herramienta fundamental para el análisis de los procesos termodinámicos que ocurren en el diseño de sistemas de sobrealimentación para instalaciones mono y polivalentes.

Considerando los resultados obtenidos y concentrándonos específicamente en las soluciones presentadas en los diagramas 5 y 6, la inversión inicial más alta para esta instalación corresponde al sistema polivalente con economizer y bombas.

## **Conclusiones**

De acuerdo a la investigación de campo realizada en nuestro país (250 instalaciones visitadas), podemos concluir que es fundamental el mayor conocimiento de las ventajas y desventajas de cada sistema, durante su aplicación en el diseño de instalaciones, con el fin de que los usuarios tomen la mejor decisión para su proyecto.

El sistema por presión de gas con recipiente de presión constante ha demostrado que puede ser utilizado ampliamente en instalaciones mono y polivalentes teniendo capacidad para cubrir un gran porcentaje de las aplicaciones presentes en el área industrial alimenticia e incluso aquella que no pertenece a este sector.

Es importante mencionar también que existen otras alternativas de suma relevancia en los métodos de sobrealimentación especificados en la clasificación de este trabajo, y que son utilizados ampliamente en la industria, situación que hace necesaria una mayor difusión ente especialistas.

La utilización de *economizer* para instalaciones que utilizan compresores de tornillo con sistemas de presión constante, queda supeditado necesariamente al uso del recipiente de presión controlada del sistema, a manera de aparato economizador.

El entendimiento y comprensión del diagrama de *Molliere* debe constituirse como una herramienta fundamental para el análisis de los procesos termodinámicos que ocurren en el diseño de sistemas de sobrealimentación para instalaciones mono y polivalentes.

Las soluciones presentadas en los diagramas de flujo 2, 3, 4 y 5, proporcionan la suficiente información al lector (inclusive no especialista) sobre la utilización del sistema por presión constante, en las mismas aplicaciones e incluso en otras, en donde se requiera agrupar diferentes requerimientos por presión y temperatura de evaporación.

Nuestro análisis termodinámico nos permite concluir que el sistema por bombas resulta ser el que obtiene los mejores valores; sin embargo, desde nuestro punto de vista, dichas diferencias no son suficientemente significativas como para justificar y fundamentar el desplazamiento extensivo del sistema de presión constante. Resulta conveniente acotar que este resultado únicamente compete a los diseños comparados.

El análisis de inversión inicial, aplicado exclusivamente a los sistemas en estudio, arroja que el sistema por presión constante es más competitivo que el sistema mecánico, información digna de tomarse en cuenta al momento de decidir sobre el sistema a ocupar. Esta diferencia en inversión se incrementará en función del número de niveles de operación (temperatura y presión de evaporación) con lo que se proponga operar la instalación. Si bien no es válido extrapolar esta conclusión, sí nos proporciona la suficiente información para justificar una comparación entre sistemas basada en criterios mucho más sustentados.

Considerando integralmente los resultados, podemos apreciar que el sistema de recirculación por presión constante no solo está vigente, más aún, representa una excelente alternativa para la solución del circuitaje en aplicaciones mono y polinivel, siempre y cuando sean respetados los criterios de transferencia de flujo y calor del sistema.

## Recomendaciones

Reconociendo los límites naturales de este trabajo, se recomienda completar este estudio, realizando un análisis técnico entre las diferentes alternativas de recirculación por presión de gas presentado en la clasificación, documentando dicho quehacer y difundiendo en todos los foros posibles de la especialidad.

Se recomienda también completar el estudio económico con un análisis de los costos de operación y mantenimiento para los sistemas en estudio, situación que permitirá extrapolar todas las conclusiones y recomendaciones entre aplicaciones.

Recomendamos a su vez evaluar las caídas de presión reales en las diferentes instalaciones con el fin de conocer mejor las desviaciones e incluirlas en el análisis termodinámico.

Otra recomendación alternativa consiste en revisar los costos de fabricación y control de los recirculadores por bombas, ya que representan una diferencia significativa en la inversión inicial del proyecto.

Es importante evaluar el comportamiento de las variables termodinámicas, así como las económicas a cargas parciales, considerando principalmente que las bombas de recirculación operan al 100%.

Para finalizar, me permito citar una frase de un crítico a este trabajo que enmarca muy certeramente la problemática y sentido del tema y de nuestra invitación: “Las diferencias entre los sistemas son diferencias de arte y decisión muy, pero muy dependientes de cada caso particular”. (Anónimo).

## **Bibliografía**

Mercados nuevos para refrigeración con amoníaco. W.F. Stoecker, Universidad de Illinois E.U.A. Conferencia Regional del International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR) Septiembre 25 de 1995.

1993 ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Tullie Circle, N.E. Atlanta. 1993 E.U.A.

Refrigerant Liquid Level Controls and Systems. H.A. PHILLIPS & CO. 1501 E. Main Street, St. Charles Illinois.

Gas Powered Liquid Recirculation Compared To Mechanical Pumps. James D. Wright. Food Plant Engineering, Inc. International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR) Annual Meeting March 5-7, 1990, Memphis, Tennessee.

Recirculated Ammonia Systems. Henry B. Bonar President of Bonar Engineering in Jacksonville, International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR) Annual Meeting Vancouver, 1993.

Proper Selection and Application of Centrifugal Liquid Overfeed Pump, Rob O'brien. Cornel Pump Company International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR) Annual Meeting, St. Louis Missouri, 1994.

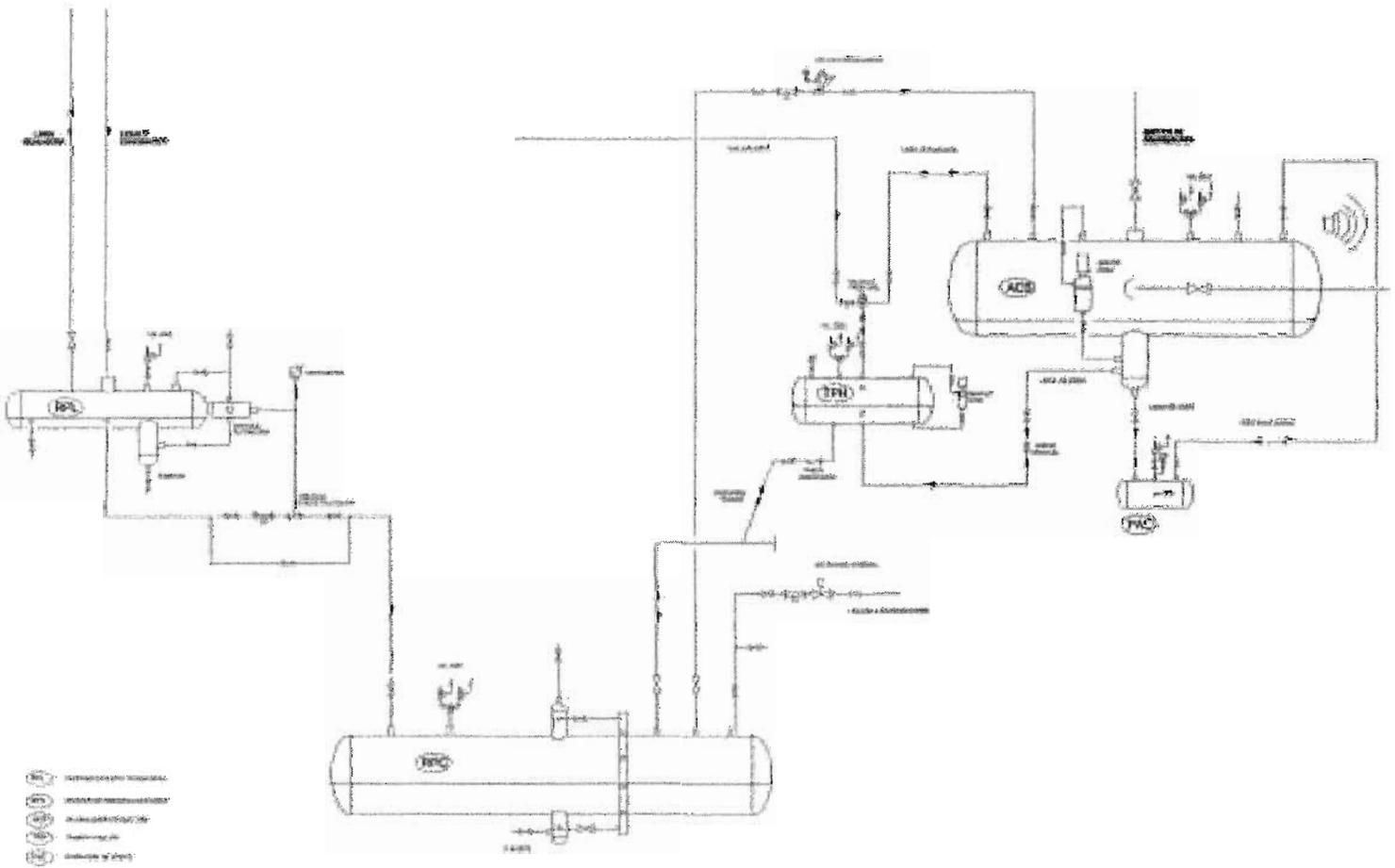
*Refrigeración Industrial*. W.F. Stoecker y H. Pérez Blanco, Business News Publishing Company. Troy Michigan, U.S.A. 1992.

*El amoníaco como refrigerante* Instituto Internacional del Frió. Versión española. H. Lamia. Fransco J. Cuesta. AMV Ediciones 2000.

Frío Industrial: Fundamento, diseño y aplicaciones P.C. Koelet. A. Madrid Vicente Ediciones 1997.

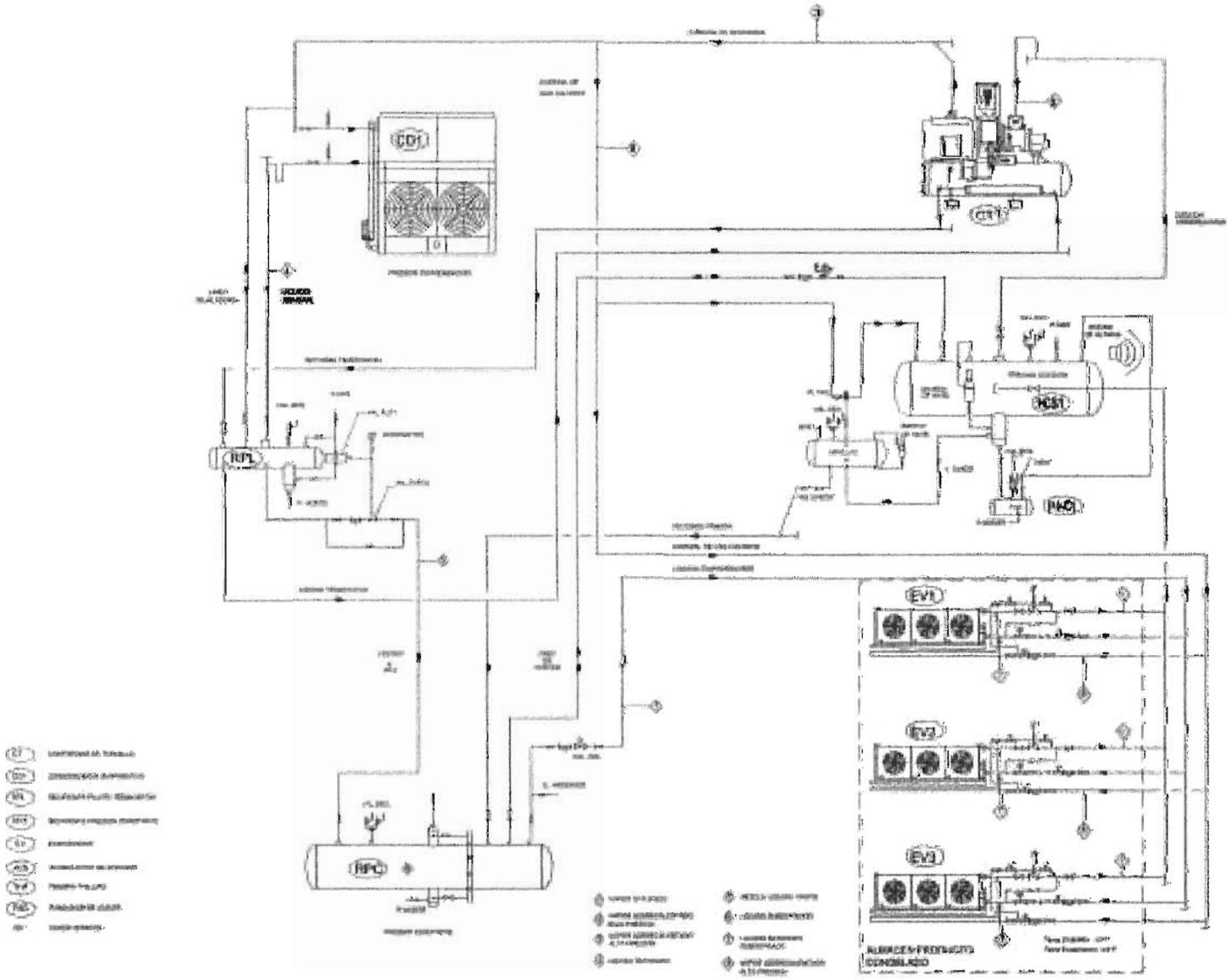
The Development of Gas Pressure Recirculation Systems: An American Phenomenon. James D. Wright. Food Plant Engineering Inc. International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR) Annual Meeting, 1991.

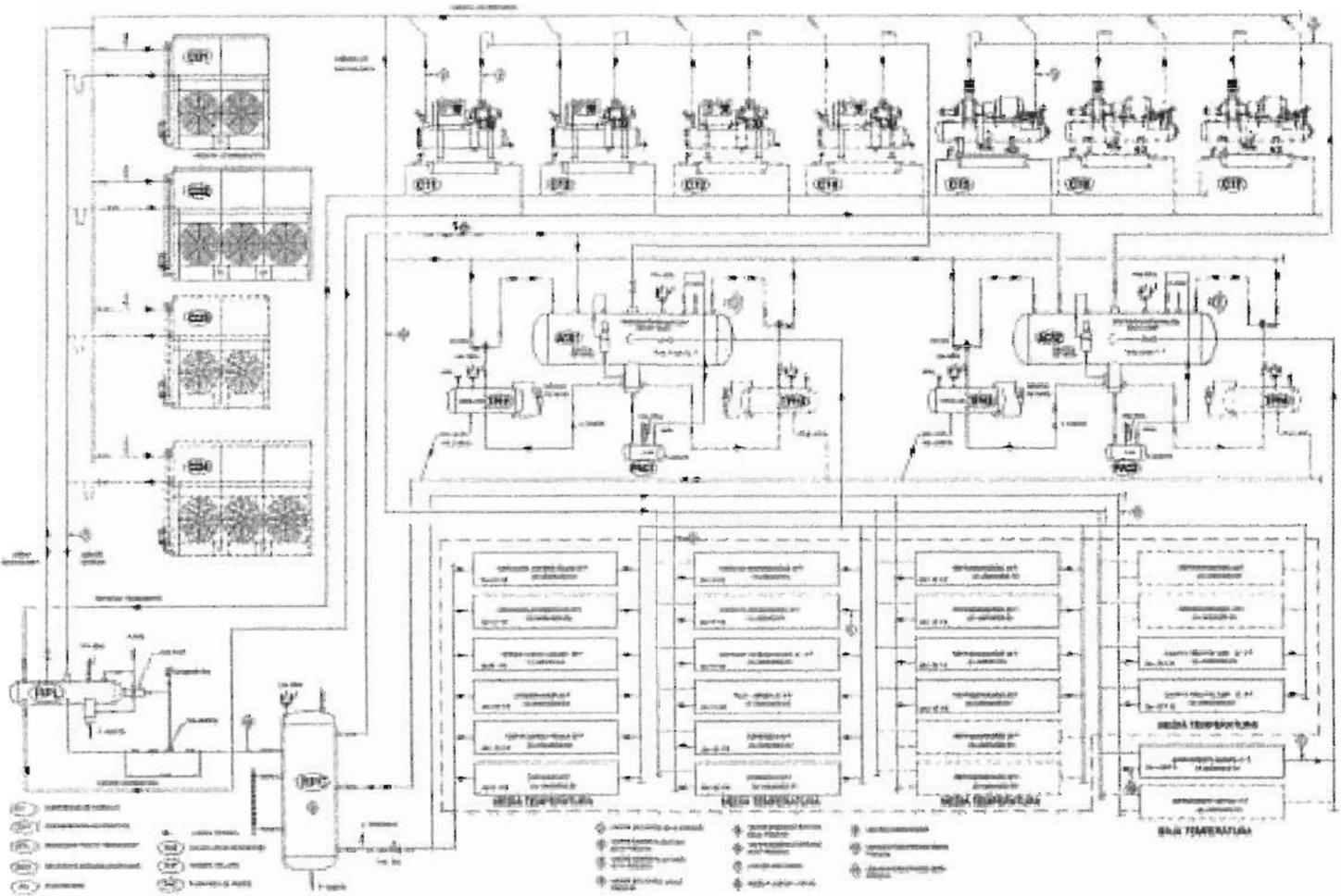
Modalidades de suministro de líquido a evaporadores. Presentación Power Point. 2004. Anónimo.



**Diagrama 1: Componentes del sistema de recirculación por presión de gas**

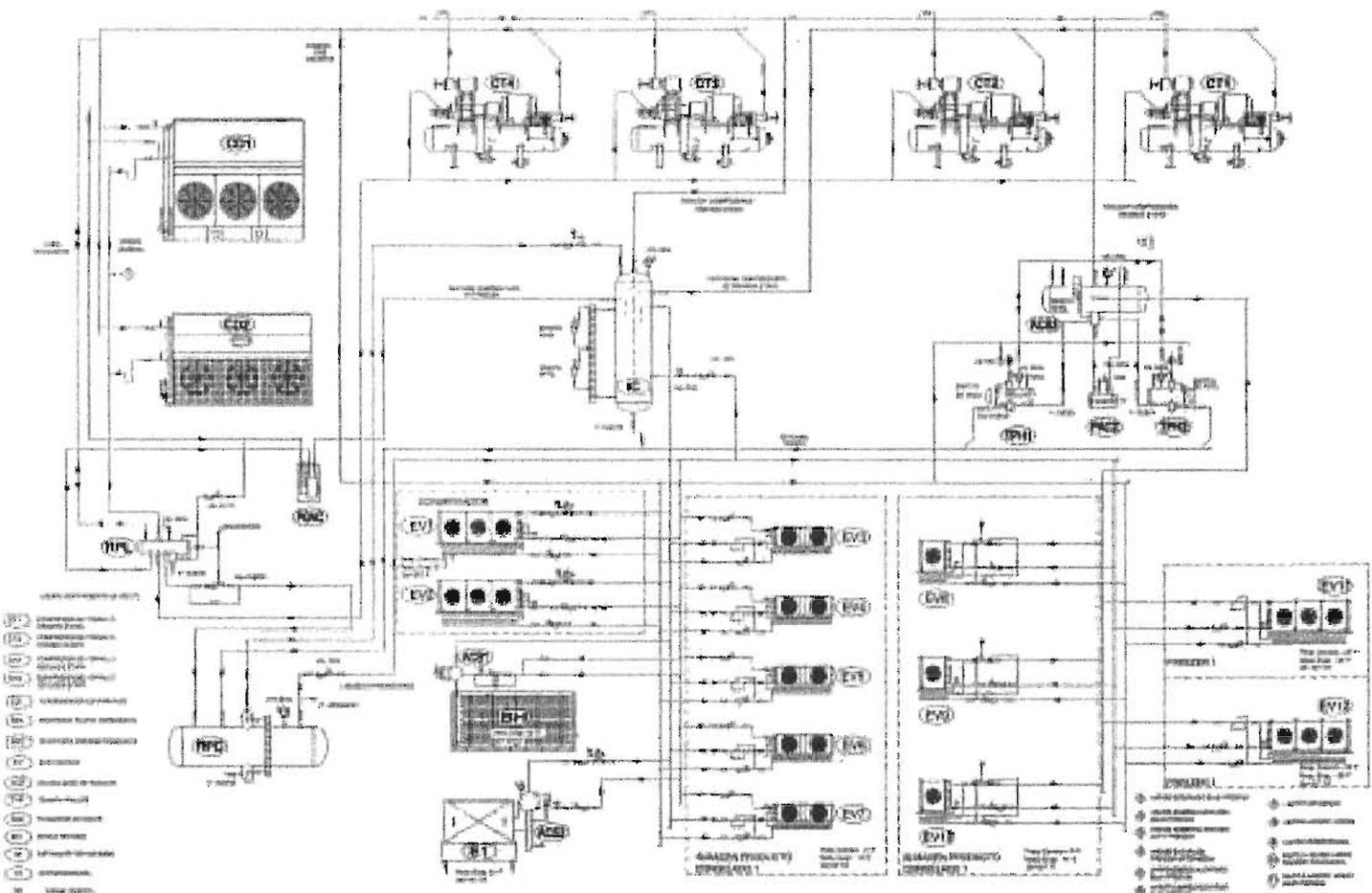
**Diagrama 2: Sistema Monovalente en una etapa de compresión con recirculación por presión de gas**

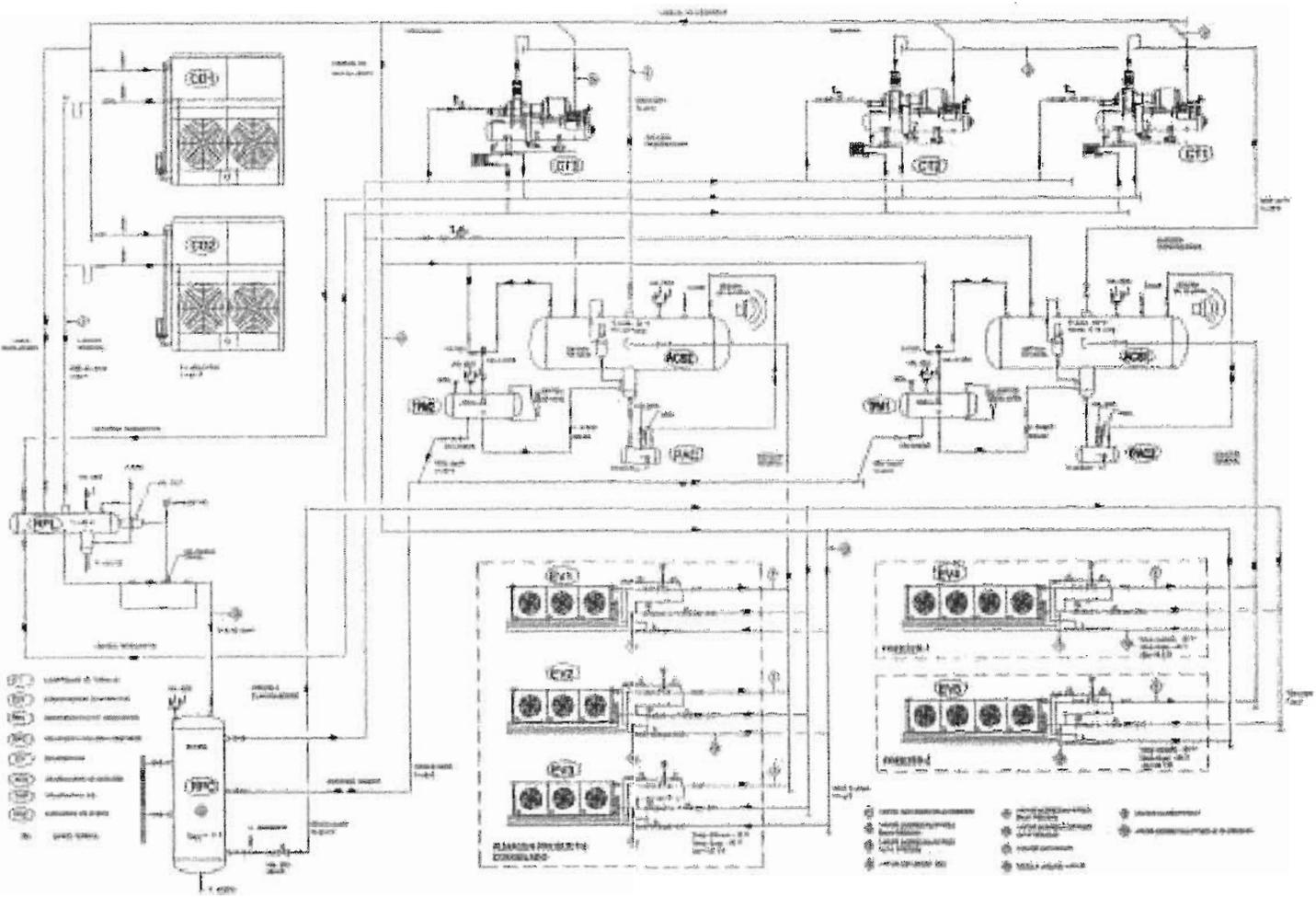




**Diagrama 3: Polivalente en una etapa de compresión con recirculación por presión de gas**

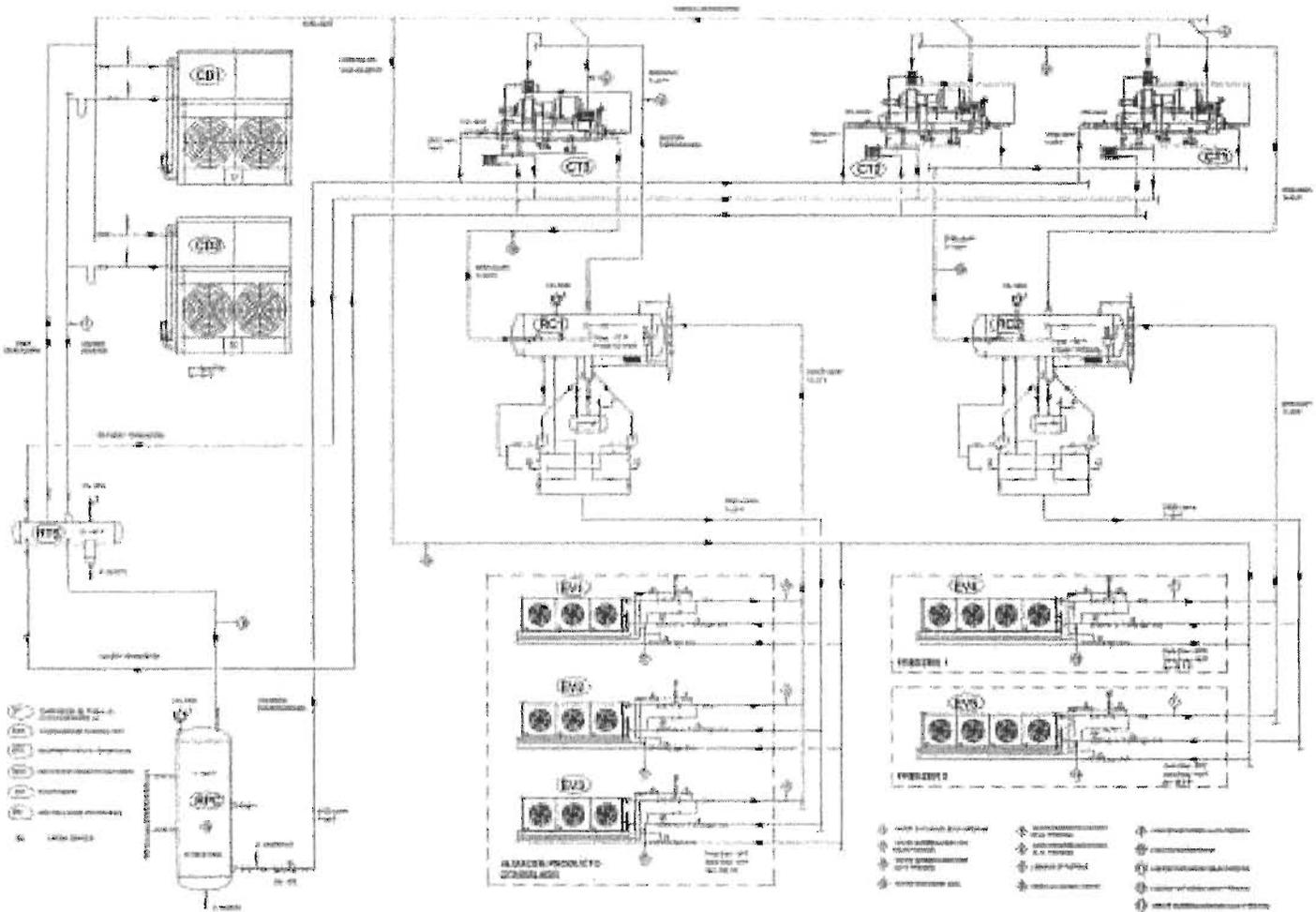
**Diagrama 4: Sistema polivalente en doble etapa de compresión con recirculación por presión de gas**

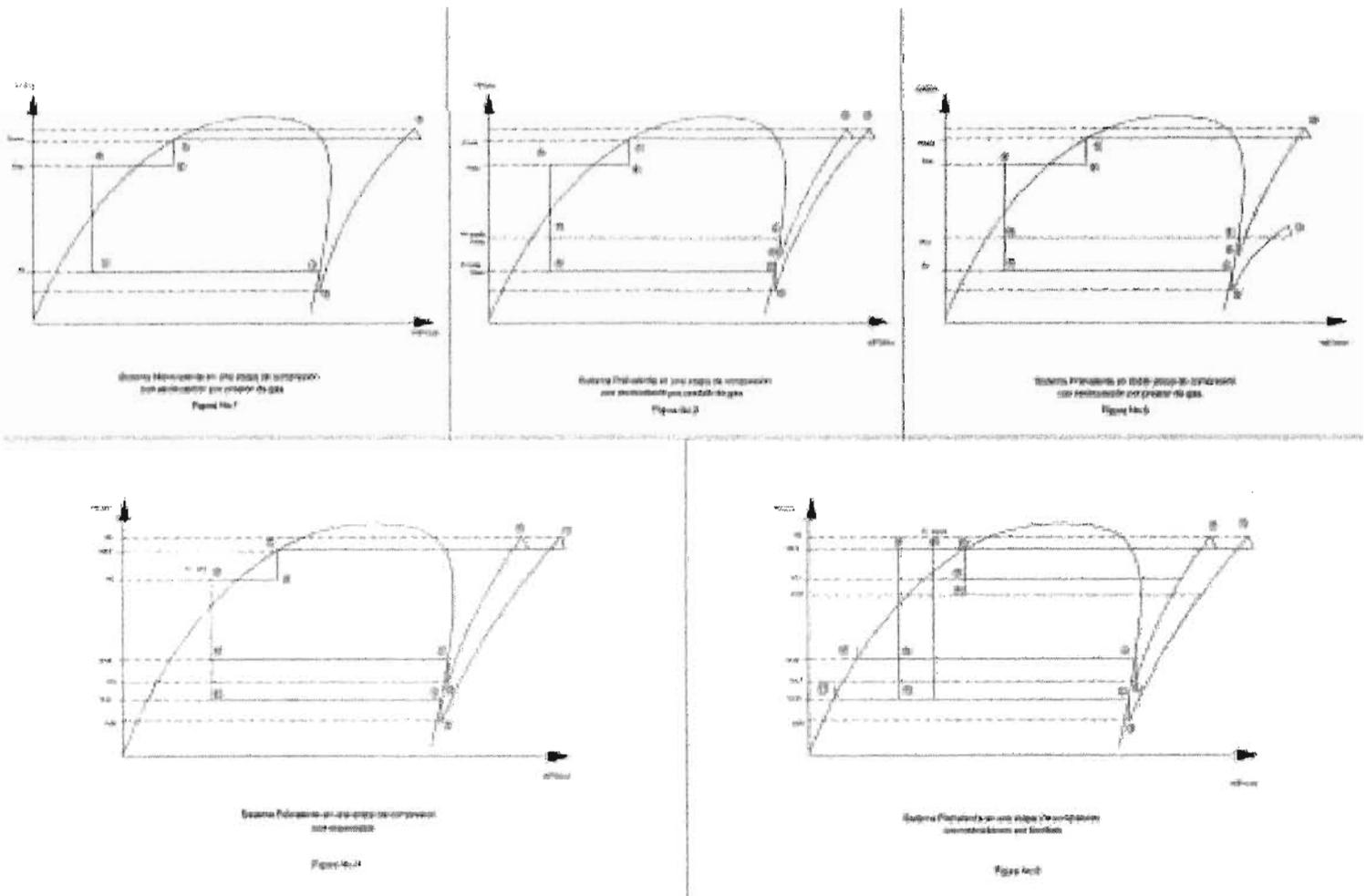




**Diagrama 5: Sistema Polivalente en una etapa de compresión con recirculación por presión de gas y economizer**

**Diagrama 6: Sistema Polivalente en una etapa de compresión con recirculación con bombas y economizer**





**Diagrama 7: Diagrama de Molliere de las soluciones presentadas**

**Tabla 1: Comparativo condiciones de operación**

Concepto	Sistema por Presión de Gas	Sistema por Bombas
Flujo Másico Total Evaporado	2,867.7 lbs/hr.	2,730.92 lbs/hr.
Flujo Másico Evaporador Producto Congelado	2,504.3 lbs/hr.	2,409.1 lbs/hr.
Flujo Total Evaporado	5,374 lbs/hr.	5,140.02 lbs/hr.
Flujo Total de Sobrealimentación	21,496 lbs/hr.	20,560.08 lbs/hr.
Volumen Desplazado del Sistema de Compresión Producto Congelado	44,326.11 ft <sup>3</sup> /hr.	42,641.07 ft <sup>3</sup> /hr.
Volumen Desplazado del Sistema de Compresión Freezer	82,360.39 ft <sup>3</sup> /hr.	78,377.4 lbs/hr.
Trabajos de Compresión Total	1,028,668 Btu/hr.	983,070.9 Btu/hr.
Potencia Indicada Total	404.19 B.H.P.	386 B.H.P.
Tonelada de Refrigeración por B.H.P.	0.60	0.66
COP.	2.98	3.12

Notas: Temp. condensación. : 90°F  
 Caída Presión Línea  
 Succión Producto Congelado: 1.8 psig.  
 Caída Presión Línea  
 Succión Freezer. : 1.5 psig.

Caída de Presión Tubería  
 de descarga. : 41 psig.  
 Relación de sobrecalentamiento. : 4:1

**Tabla 2: Cuadro comparativo sistemas de recirculación - equipamiento**

Concepto	Sistema por presión de gas	Sistema por bombas
Sistema Compresión Tipo Tornillo	1 Compresor para 124 T.R. con motor de 300 H.P. 2 Compresores para 142 T.R. con motores de 250 H.P.	1 Compresor para 137.4 T.R. con motor de 300 H.P. 2 Compresores para 162 T.R. con motores de 300 H.P.
Sistema Condensación	2 Condensadores Evaporativos para 490 T.R.	2 Condensadores Evaporativos para 532 T.R.
Evaporadores	2 Evaporadores para 68 T.R. 3 Evaporadores para 40 T.R.	2 Evaporadores para 68 T.R. 3 Evaporadores para 40 T.R.
Recipientes	1 Recipiente Piloto/Termosifón 24" x 6' 1 Recipiente Presión Constante 36" x 12' 2 Acumuladores de Succión 42" x 10' 2 Trampas Phillips 20" x 40"	1 Recipiente Termosifón 24" x 6' 1 Recipiente Alta Presión 36" x 12' 2 Recirculadores de Bombas 42" x 10'
Válvulas y Controles	Lotes de válvulas y controles con 249 partidas.	Lotes de válvulas y controles con 141 partidas.
Instalación Mecánica Eléctrica	Suministro, instalación y materiales mecánicos-eléctricos.	Suministro, instalación y materiales mecánicos-eléctricos.
Inversión Inicial (USD) en México	\$758,375.00 USD	\$869,758.17 USD.

**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**



---

1110 North Glebe Road, Suite 250, Arlington, VA 22201  
Phone: (703) 312-4200 • Fax: (703) 312-0065  
www.iar.org • Email: iar@iar.org

**iiar**®  
International Institute of  
Ammonia Refrigeration

---

February 23, 2005

Manuel Alarcón López  
A. Blasquez E. Refrigeración Industrial, S.A. de C.V.  
Av. Contreras No. 516 5o. Piso  
San Jeronimo Lidice  
C.P. 10200 México, D.F.  
Mexico

Mr. Alarcón López:

I am writing to confirm the acceptance and upcoming publication of your technical paper, *El sistema de recirculación de líquido por presión de gas, desde un análisis en sus aplicaciones practicas en la industria frigorífica*, in the 2005 Proceedings of the IAR Ammonia Refrigeration Conference and Exhibition that will be held at the Fairmont Acapulco Princess in Acapulco, Mexico from March 13<sup>th</sup> to 16<sup>th</sup> 2005. For 2005 the Spanish and English papers will be printed in separate volumes, however the CD will contain the papers published in both languages. Within one or two months after the Conference, the papers will become available to all IAR members via the “members only” section on the IAR website and to anyone else who would like to purchase individual papers or the complete proceedings.

The IAR Ammonia Refrigeration Conference Proceedings are published on an annual basis and consist of papers that are technical in nature and that relate to industrial ammonia refrigeration systems technology. Invitation to publish a technical paper is a competitive process in which all abstracts (paper topic proposals) are evaluated and scored by a committee of experienced ammonia refrigeration industry professionals from all over the world. Authors of the highest rated proposals are invited to submit a paper. The drafts of the 2005 Technical Papers Spanish were subjected to a “double blind” peer review process in which the identities of the authors and reviewers remained anonymous. An editorial committee of ammonia refrigeration industry professionals with ample experience from the U.S., Mexico and throughout Latin America participated in the review of the Spanish Technical Papers. Paper authors received all comments submitted on their papers several weeks prior to the deadline for submitting their final draft. Prior to publication, papers are subject to a final editorial review by IAR staff.

Thank you for your contribution to the 2005 Ammonia Refrigeration Conference and I look forward to seeing you in Acapulco!

Sincerely,



M. Kent Anderson  
President