

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE
VINO ESPUMANTE**

**PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL T.S.U. DÍAZ SANOJA, OMAR AGUSTÍN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

CARACAS, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE
VINO ESPUMANTE**

TUTOR ACADÉMICO: PROF. ANTONIO BORGES

**PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL T.S.U. DÍAZ SANOJA, OMAR AGUSTÍN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

CARACAS, 2009



Caracas, 18 de junio de 2009

ACTA

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller:

OMAR A. DIAZ SANOJA

Título:

"DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION PARA EL PROCESO DE ELABORCION DE VINO ESPUMANTE"

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.

Prof. Francisco García
Jurado



Prof. Julio Segura
Jurado

Prof. Rodolfo Berrios
Tutor

DEDICATORIA:

Este Trabajo Especial de Grado se lo dedico en primer lugar a Dios Todo Poderoso, por haberme dado la sabiduría necesaria para poder culminarlo, a mi abuela Carmen, quién con su esfuerzo y dedicación logró enrumbarme por el camino del bien y a quién le debo prácticamente todo lo que soy en esta vida, a mi mamá Carmen Alida, quién sabiamente me repetía día a día lo que era y lo que no era bueno para mí, a mi querida y adorada esposa Luisa Sorena, sin cuya ayuda y sobre todo mucha paciencia posiblemente no hubiese podido lograrlo.

AGRADECIMIENTOS:

A continuación menciono todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible la realización del presente Trabajo Especial de Grado:

Al Profesor Antonio Borges, cuya guía fue fundamental para la culminación del presente Trabajo.

Al Sr. Israel Meza, por todo su apoyo y por haber compartido conmigo todos sus conocimientos del área de refrigeración.

A los Ingenieros Joxsan Salazar, Cesar Cuadros y Miguel Mota, por su apoyo incondicional.

Al Ingeniero Mizael González.

Al Lic. Alejandro Molina, especialista en Tecnología de Alimentos, por toda la colaboración prestada y la información suministrada.

A las Industrias TRANSCA INFRISA, C.A. y al COMPLEJO INDUSTRIAL LICORERO PONCHE CREMA, C.A.

A la Sra. Yrene de Betancourt y a la Sra. Norys Rodríguez.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE VINO ESPUMANTE

Tutor Académico: Prof. Ing. Antonio Borges.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009. 98 Pág.

Palabras Claves: Intercambiadores de Calor de Placas, Vino Espumoso,
Refrigeración.

El Complejo Licorero Ponche Crema, empresa productora de vinos espumantes y otras bebidas alcohólicas, estaba necesitando aumentar su capacidad de producción agregando una nueva línea de embotellado. Es por esta razón que se elaboró el presente trabajo, el cual tuvo por objetivo principal diseñar un sistema de refrigeración para satisfacer las características inherentes al proceso de elaboración de “Vino Espumante Alexander” producido por el Complejo Licorero Ponche Crema. Para ello, fue necesario identificar las propiedades físico-químicas del producto, estudiar los diferentes tratamientos térmicos a los que se somete el producto para lograr su producción a nivel industrial, determinar las cargas térmicas presentes en el proceso, seleccionar el equipo más adecuado para el proceso, elaborar el plano de arreglo general del equipo y elaborar el manual de operación y mantenimiento del equipo. Se determinó que el equipo necesario para tal fin, es un Intercambiador de Calor de Placas Paralelas que sería el componente principal del sistema de refrigeración, el mismo sería colocado al final de la línea de producción, justo antes de la carbonatación y posterior embotellado y tapado.

DESIGN OF A REFRIGERATION SYSTEM FOR THE FROTHING WINE PRODUCTION PROCESS

Academic tutor: Antonio Borges, Mechanical Engineer Teacher

Thesis. Caracas, U.C.V. Engineering Faculty.

School of Mechanical Engineering. 2009. 98 pages.

Key Words: Plates Heat Exchangers, Frothing Wine, Refrigeration.

The Complejo Licorero Ponche Crema, producing wines company and other alcoholic drinks, it needed to increase its production capacity adding a new line of bottling. For this reason the present work was elaborated, which had for principal objective to design a system of refrigeration to satisfy the characteristics inherent for the “Frothing Wine Alexander” production process produced for the Complejo Licorero Ponche Crema. For it, it was necessary to identify the physically chemistries properties of the product, to study the different thermal treatments to which the product surrenders to achieve its industrial production, to determine the thermal loads present in the process, to select the equipment more adapted for the process, to elaborate the arrangement plane of the equipment and elaborate the operation manual and maintenance of the equipment. The equipment necessary for such purpose, is a Parallel Plates Heat Interchanger that it would be the principal component of the refrigeration system, the same it would be placed at the end of the line of production, just before to inject the carbon dioxide and later bottling and covered.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS DEL T. E. G.	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	
1.1 La transferencia de calor	6
1.2 Mecanismos de transferencia de calor	7
1.2.1 Transferencia de calor por conducción	7
1.2.2 Transferencia de calor por convección	8
1.2.3 Transferencia de calor por radiación	9
1.3 Sistemas de refrigeración	10
1.3.1 Sistema de refrigeración por compresión de vapor	10
1.3.2 Componentes básicos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor	12
1.3.2.1 Compresor	12
1.3.2.2 Condensador	16
1.3.2.3 Evaporador	19
1.3.2.4 Intercambiadores con tubos	21
1.3.2.5 Intercambiadores de superficies planas	23
1.3.2.6 Válvulas termostáticas de expansión	30
1.3.2.7 Distribuidores	31
1.3.2.8 Tubos capilares	32
1.4 Conservación de la energía para un volumen de control	34

1.5	Capa límite de velocidad o hidrodinámica	34
1.6	Capa límite térmica	35
1.7	Flujo laminar y turbulento	36
1.8	Parámetros adimensionales que se relacionan con las condiciones de la capa límite	38
1.9	Cálculo de la superficie de intercambio	40

CAPÍTULO II: ASPECTOS RELACIONADOS CON EL PRODUCTO A PROCESAR

2.1	El vino y sus características	41
2.1.1	Origen	41
2.1.2	Definición del producto	42
2.1.3	Mercado del vino	43
2.1.4	Mercado mundial del vino	43
2.1.5	Mercado del vino en Venezuela	45
2.1.6	Tipos de vinos	47
2.1.7	Fabricación del vino espumoso	50
2.1.8	Métodos de fabricación de los vinos espumosos	53
2.1.9	El efecto de la refrigeración en los vinos	57

CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO

3.1	Descripción de la organización demandante del equipo	64
3.2	Proceso de elaboración del “VINO ALEXANDER ESPUMOSO”	65
3.3	Característica del “vino Alexander espumoso” fabricado por Complejo Licorero Ponche Crema	66

CAPÍTULO IV: CÁLCULO DEL EQUIPO

4.1	Selección del tipo de intercambiador de calor más adecuado para la empresa	69
4.2	Método de cálculo del intercambiador de placas	70
4.3	Cálculo para determinar el número de placas del intercambiador de calor	76
4.4	Reporte de resultados	83
4.5	Diagrama del equipo	84
4.6	Manual de operación y mantenimiento	85
4.7	Conclusiones	94
4.8	Recomendaciones	96
4.9	Bibliografía	97
4.10	Anexos	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.		Pág.
1	Ciclo de Refrigeración.	12
2	Compresor Reciprocante	14
3	Compresor Semi Hermético	15
4	Compresor Hermético	16
5	Condensador Enfriado por Aire	18
6	Condensador Enfriado por Agua	19
7	Tipos de intercambiadores de calor según la configuración del flujo	20
8	Intercambiador de Tubos	27
9	Intercambiador de Placas	25
10	Esquema de un Intercambiador de Placas	27
11	Esquema de funcionamiento de un Intercambiador de Placas	28
12	Juntas del Intercambiador de Placas	29
13	Intercambiador de compacto (placas soldadas)	30
14	Válvula Termostáticas de Expansión	31
15	Distribuidores	32
16	Tubos Capilares	34
17	Método ancestral para la elaboración de vinos espumosos	54
18	Método Champenoise o Tradicional para la elaboración de vinos espumosos	55
19	Método Charmat o de carbonatación para la elaboración de vinos espumosos	56

20	Proceso de fabricación del vino espumoso Alexander	65
21	Presentación del vino espumoso Alexander	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
1 Temperatura máxima de operación de las juntas	28
2 Superficie vitícola mundial	44
3 Producción mundial de vinos	44
4 Demanda mundial de vinos	45

INTRODUCCIÓN

En la industria alimenticia la refrigeración es una de las operaciones unitarias más comunes e importante en el proceso de fabricación y producción de diferentes productos dirigidos al consumo.

La refrigeración, en el más amplio sentido de la palabra, puede definirse como el proceso de extracción y/o mantenimiento de la temperatura a un valor por debajo de la temperatura ambiente de una sustancia o ambiente.

En el siguiente Trabajo Especial de Grado se plantea el diseño de un sistema de refrigeración que pueda ser acoplado a una línea de producción continua de un vino espumoso tipo DEMI SEC, con una graduación alcohólica de 12 °Gl, con adición de gas carbónico, que se comercializa en el mercado venezolano bajo la denominación de “**VINO ESPUMANTE ALEXANDER**” y que es producido por el **COMPLEJO LICORERO PONCHE CREMA** en su planta ubicada en la población de Ocumare del Tuy, en el estado Miranda.

El vino es un producto alimenticio que, de acuerdo a las **Norma COVENIN 3342:1997**, se define como “Una bebida alcohólica resultante de la fermentación total o parcial de la uva fresca, el fruto de la ***vitis vinifera*** L. incluyendo variedades híbridas, obtenido por medios físicos y cuya graduación alcohólica se ubica ente 7 y 14 °GL.

El consumo de vinos en Venezuela ha venido creciendo sostenidamente desde hace tres años debido al auge gastronómico que se ha gestado en el país, ubicándose para el año 2007 en 12 millones de litros (Méndez, 2006). Dicho crecimiento de mercado se ha traducido directamente en el aumento

de la demanda del VINO ESPUMANTE ALEXANDER, por lo que la empresa fabricante, con el fin de aprovechar esta situación, se ha visto en la necesidad de aumentar su capacidad de producción agregando una nueva línea de embotellado.

Debido a las características de este tipo de industrias y la realidad de la economía venezolana, la empresa ha solicitado el desarrollo del diseño y la construcción de cada uno de los equipos necesarios para realizar la ampliación a empresas locales con experiencia demostrada dentro del ramo alimenticio.

Fue de esta forma como llegó la solicitud a TRANSCA INFRISA, empresa venezolana, ubicada en Caracas, especializada en el diseño de sistemas de refrigeración y transferencia de calor con más de 50 años de experiencia en el mercado nacional, para desarrollar el diseño y la posterior construcción de un equipo para realizar, en continuo, el enfriamiento del producto a una temperatura de 4 °C, temperatura que permitirá realizar el filtrado y posterior carbonatado previo al embotellado, necesario para satisfacer las necesidades del consumidor al momento del consumo del producto.

La empresa TRANSCA INFRISA solicitó el apoyo del autor para realizar una Tesis – Pasantía centrada en la realización del diseño y el posterior apoyo en la construcción del equipo, realizando un análisis de los equipos existentes para determinar cuál de estos podría satisfacer mejor las necesidades del cliente.

Por ser este equipo requerido para la producción de un producto de consumo humano, debe tener una serie de características particulares que permitan operar en las mejores condiciones de asepsia y adicionalmente ser

ideal desde el punto de vista técnico y la mejor opción económica para la empresa contratante.

OBJETIVOS DEL T. E. G.

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un equipo de refrigeración que satisfaga las características inherentes al proceso de elaboración del “Vino Espumante Alexander” producido por el Complejo Licorero Ponche Crema.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar las propiedades físico-químicas del producto.
- Estudiar los diferentes tratamientos térmicos a los que se somete el producto, para lograr su producción a nivel industrial.
- Determinar las cargas térmicas presentes en el proceso.
- Seleccionar el equipo más adecuado para el proceso.
- Elaborar el plano de arreglo general del equipo.
- Elaborar el manual de operación y mantenimiento del equipo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 LA TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas (Incropera y De Witt, 1999). Se ha descrito a la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre cuerpos a diferentes temperaturas.

Siempre que exista una diferencia de temperatura en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor. Se tienen dos cuerpos con diferente temperatura uno de otro, y se ponen en contacto, en un tiempo determinado, estos alcanzarán la misma temperatura, es decir, tendrán ambos la misma temperatura. Si luego un tercer cuerpo, se pone en contacto con los anteriores, también alcanzará la misma temperatura y, todos tendrán la misma temperatura mientras estén en contacto, este principio se conoce como la Ley Cero de la Termodinámica, y establece que: “Si un cuerpo A está en equilibrio térmico con un cuerpo C y un cuerpo B también está en equilibrio térmico con el cuerpo C, entonces los cuerpos A y B están en equilibrio térmico” (Rodríguez, 2002). Este concepto fundamental, aun siendo ampliamente aceptado, no fue formulado hasta después de haberse enunciado las otras tres Leyes de la Termodinámica de ahí que recibe la posición Cero.

La Ley Cero de la Termodinámica también conocida como Ley del Equilibrio Térmico porque la condición para que dos sistemas estén en equilibrio térmico es que se hallen a igual temperatura.

1.2 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Existen tres mecanismos diferentes a través de los cuales puede transferirse calor de un sistema a otro, aún cuando muchas de las aplicaciones de la ingeniería son combinaciones de dos o todos ellos. Tales mecanismos son: **Conducción, convección y radiación.**

1.2.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

De acuerdo a Incropera y De Witt (1999), la conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones de las mismas. A la mención de la palabra conducción debemos evocar de inmediato conceptos de actividad atómica molecular, pues hay procesos en estos niveles que sustentan este modo de transferencia de calor.

La conducción implica la transferencia de energía cinética de una molécula, con energía molecular más alta, a otra adyacente, con energía molecular más baja, siendo este el único mecanismo de flujo calorífico en un sólido. La transferencia de energía por conducción debe ocurrir entonces en la dirección de la temperatura decreciente.

Difusión de energía debido al movimiento aleatorio, Ley de Fourier:

$$q_x'' \left(\frac{W}{m^2} \right) = -k * \frac{dT}{dx}$$

El flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área q_x [W/m^2] es la velocidad con que se transfiere el calor en la dirección de “x” por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura, dT/dx en esa dirección. La constante de proporcionalidad “k”, es una característica del material por el cual se está transmitiendo el calor (Incropera y De Witt, 1999).

El flujo de calor o transferencia de calor por unidad de área q_x [W/m^2] es la velocidad con que se transfiere el calor en la dirección de “x” por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura, dT/dx en esa dirección. La constante de proporcionalidad “k”, es una característica del material por el cual se está transmitiendo el calor (Incropera y De Witt, 1999).

1.2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La convección no es más que la transferencia de calor entre una superficie y un fluido que se mueve sobre esta. El modo de transferencia de calor se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia de energía debido al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento global o macroscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor. El modo de transferencia de calor por convección se sustenta tanto en el movimiento molecular aleatorio como en el movimiento volumétrico del fluido en la capa límite (Incropera y De Witt, 1999).

Difusión de energía debido al movimiento molecular aleatorio más transferencia de energía debido al movimiento global, Ley de enfriamiento de Newton:

$$q'' \text{ [W/m}^2\text{]} = h(T_s - T_{oo})$$

Donde “q”, el flujo de calor por convección en $[\text{W/m}^2]$, es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido, T_s y T_{oo} , respectivamente. La constante de proporcionalidad “h $[\text{W/m}^2\cdot\text{k}]$ ”, se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección. Este depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte.

1.2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita (Incropera y De Witt, 1999). La radiación puede provenir tanto de superficies sólidas como de líquidos y gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en la configuración electrónica de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternativamente, fotones). Mientras la transferencia de energía por conducción o por convección requiere la presencia de un medio material, la radiación no lo precisa. De hecho, la transferencia de calor por radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío.

1.3 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

En general, se define la refrigeración como cualquier proceso de extracción de calor. Más específicamente, se define a la refrigeración como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto de los alrededores correspondientes.

Para lograr lo anterior, debe sustraerse calor del cuerpo que va a ser refrigerado y ser transferido a otro cuerpo cuya temperatura es inferior a la del cuerpo refrigerado. Debido a que el calor eliminado del cuerpo refrigerado es transferido a otro cuerpo, es evidente que refrigeración y calefacción son en realidad los extremos opuestos del mismo proceso. A menudo, sólo el resultado deseado distingue a uno del otro.

1.3.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

Existen dos presiones en el sistema de compresión: La de evaporación o baja presión y la de condensación o alta presión.

El refrigerante actúa como medio de transporte para mover el calor del evaporador al condensador donde es despedido a la atmósfera, o en casos de sistemas enfriados por agua, al agua de enfriamiento. Un cambio de estado de líquido a vapor y viceversa permite al refrigerante absorber y descargar grandes cantidades de calor en forma eficiente.

El ciclo básico opera en la siguiente forma: El refrigerante líquido a altas presiones es alimentado al receptor a través de la tubería del líquido,

pasando por un filtro secador al instrumento de control que separa el lado de alta presión del sistema del lado de baja presión.

La válvula de expansión controla la alimentación del refrigerante líquido al evaporador, y por medio de un pequeño orificio reduce la presión del refrigerante a la de evaporación o baja presión.

La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que éste hierva o se vaporice hasta que el refrigerante alcanza la temperatura de saturación correspondiente a la de su presión.

Conforme el refrigerante de baja temperatura pasa a través del evaporador, el calor fluye a través de las tuberías del evaporador hacia el refrigerante, haciendo que la acción de ebullición continúe hasta que el refrigerante se encuentra totalmente vaporizado.

La válvula de expansión regula el flujo a través del evaporador conforme sea necesario para mantener una diferencia de temperatura determinada a cierto sobrecalentamiento deseado entre la temperatura de evaporación y el vapor que sale del evaporador. Conforme la temperatura del gas que sale del evaporador varía, el bulbo de la válvula de expansión registra esta variación y actúa para modular la alimentación a través de la válvula de expansión para adaptarse a las nuevas necesidades.

El vapor refrigerante que sale del evaporador viaja a través de la línea de succión hacia la entrada del compresor. El compresor toma el vapor a baja presión y lo comprime aumentando tanto su presión como su temperatura. El vapor caliente y a alta presión es bombeado fuera del compresor a través de la válvula de descarga hacia el condensador. Conforme pasa a través del condensador, el gas a alta presión es enfriado por algún medio externo. En

sistemas enfriados por aire, se usa generalmente un ventilador y un condensador aleteado. En sistemas enfriados por agua, se emplea generalmente un intercambiador de calor de refrigerante-agua. En la medida que la temperatura del vapor del refrigerante alcanza la temperatura de saturación correspondiente a la alta presión del condensador, el vapor se condensa y fluye al recipiente, repitiéndose nuevamente el ciclo.

El proceso de refrigeración es continuo siempre y cuando funcione el compresor.

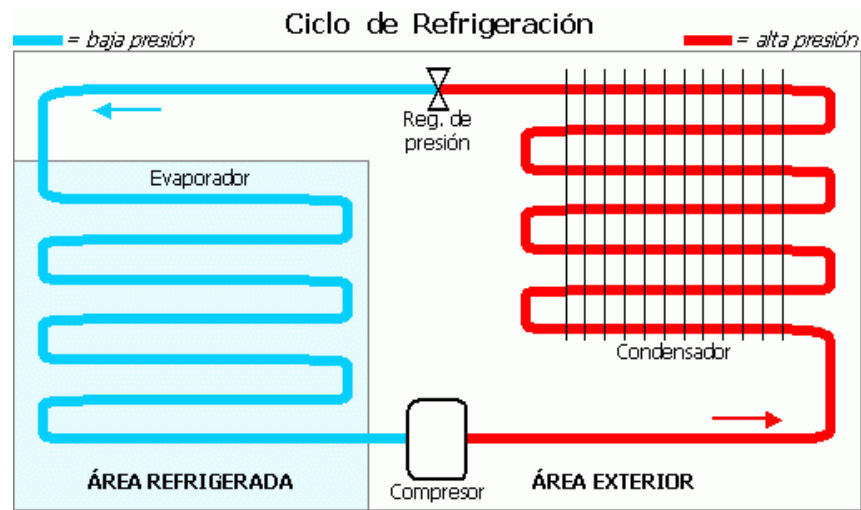


Figura 1. Ciclo de Refrigeración. Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

1.3.2 COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

1.3.2.1 COMPRESOR

El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión. En primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la

presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la temperatura del medio enfriante disponible para la condensación del vapor refrigerante.

1.3.2.1.1 TIPOS DE COMPRESORES

- COMPRESORES RECIPROCANTES

El diseño del compresor recíprocante es algo similar al del motor de un vehículo, con un pistón accionado por un cigüeñal que realiza carreras alternas de succión y compresión en un cilindro provisto con válvulas de succión y de descarga. Puesto que el compresor recíprocante es una bomba de desplazamiento positivo, resulta apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido, y es muy eficaz a presiones de condensación elevada y en altas relaciones de compresión. Otras ventajas son: su adaptabilidad a diferentes refrigerantes, la facilidad con que permite el desplazamiento de líquido a través de tuberías dada la elevada presión creada por el compresor, su durabilidad, la sencillez de su diseño y un costo relativamente bajo.



Figura 2. Compresor Reciprocante. Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

- COMPRESORES DE TIPO ABIERTO

Los primeros modelos de compresores de refrigeración fueron llamados de tipo abierto, con los pistones y cilindros sellados en el interior de un carter y un cigüeñal extendiéndose a través del cuerpo hacia fuera para ser accionado por alguna fuerza externa. Un sello en torno al cigüeñal evita la pérdida de refrigerante y de aceite del compresor. Aunque en un tiempo los compresores de tipo abierto fueron ampliamente utilizados, éstos tienen muchas desventajas inherentes, tales como mayor peso, costo superior, mayor tamaño, vulnerabilidad a fallas de los sellos, difícil alineación del cigüeñal, ruido excesivo y corta vida de las bandas o componentes de acción directa. De ello resulta que, en la mayoría de aplicaciones, el compresor de tipo abierto ha sido reemplazado por el moto compresor de tipo semi-hermético y hermético y el empleo de compresores del tipo abierto continúa disminuyendo excepto para aplicaciones especializadas como es el acondicionamiento de aire para automóviles.

- COMPRESORES SEMI-HERMÉTICOS

El compresor semi hermético es accionado por un motor eléctrico montado directamente en el cigüeñal del compresor, con todas sus partes, tanto del motor como del compresor, herméticamente selladas en el interior de una cubierta común. Se eliminan los trastornos del sello, los motores pueden calcularse específicamente para la carga que han de accionar, y el diseño resultante es compacto, económico, eficiente y básicamente no requiere mantenimiento.

Las cabezas cubiertas del estator, placas del fondo y cubiertas del carter son desmontables permitiendo el acceso para sencillas reparaciones en el caso de que se deteriore el compresor.



Figura 3. Compresor Semi Hermético Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

- COMPRESOR HERMÉTICO

El compresor hermético es ampliamente utilizado en equipos unitarios de escasa potencia. Como en el caso del compresor semi hermético, un motor eléctrico se encuentra montado directamente en el cigüeñal del compresor, pero, el cuerpo es una carcasa metálica herméticamente sellada con

soldadura. En este tipo de compresores no pueden llevarse a cabo reparaciones interiores puesto que la única manera de abrirlos es cortar la carcasa del compresor.

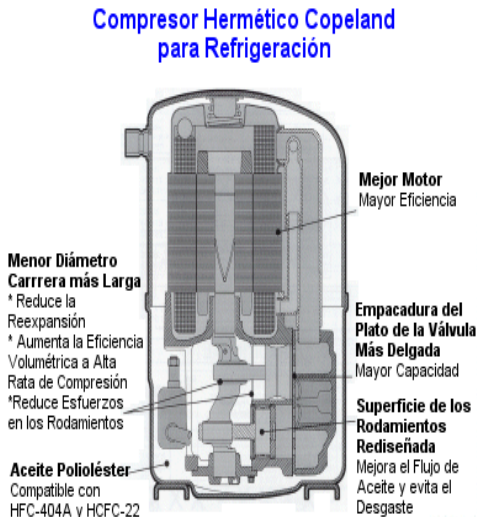


Figura 4. Compresor Hermético. Fuente: www.Frioycalor.cl (2007)

1.3.2.2 CONDENSADOR

El condensador es básicamente un intercambiador de calor, en donde el calor absorbido por el refrigerante durante el proceso de evaporación es cedido al medio de condensación. Como se ha mencionado previamente, el calor cedido por el condensador es siempre mayor que el calor absorbido durante el proceso de evaporación debido al calor de la compresión. Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada presión y temperatura, su temperatura desciende al punto de saturación y el vapor se condensa convirtiéndose en líquido, de aquí el nombre de condensador.

1.3.2.2.1 TIPOS DE CONDENSADOR

- CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE

El condensador más comúnmente usado es el tubo con aletas en su exterior, las cuales disipan el calor al aire ambiente. A excepción de unidades domésticas muy pequeñas, las cuales dependen de la circulación del aire ambiente por gravedad, la transferencia de calor se lleva a cabo de modo eficaz forzando grandes cantidades de aire a través del condensador. Una típica unidad condensadora enfriada por aire se representa en la figura 5.

Los condensadores enfriados por aire son fáciles de instalar, económicos de mantener, no requieren agua y no tienen peligro de congelación en tiempo de frío. Sin embargo, es necesario un suministro adecuado de aire fresco y el ventilador puede crear problemas de ruido en instalaciones grandes. En regiones muy cálidas la temperatura relativamente elevada del aire ambiente puede producir presiones de condensación elevadas; sin embargo, si la superficie del condensador es adecuada puede ser utilizado satisfactoriamente en toda clase de climas. Han sido utilizados con mucho éxito durante muchos años en áreas cálidas y secas en donde el agua es escasa. Y dado el incremento en la escasez del agua en áreas densamente habitadas, el empleo de los condensadores enfriados por aire aumentará sin duda en el futuro.

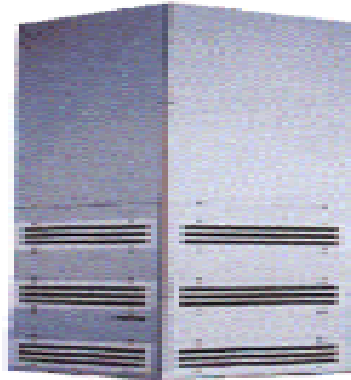


Figura 5. Condensador Enfriado por Aire Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

- CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA

Cuando se encuentra disponible agua de condensación adecuada a bajo costo, son preferibles los condensadores enfriados por agua, dado que tienen presiones de condensación más bajas y es posible un mejor control de la presión de descarga. El agua, especialmente de manantiales, es generalmente mucho más fría que el aire durante el día. Si se utilizan torres de enfriamiento, la temperatura del agua de condensación puede ser bajada a un punto muy cercano a la temperatura ambiente del bulbo húmedo. Esto permite la continua recirculación del agua de condensación y reduce el consumo de ésta al mínimo.

Los condensadores enfriados por agua pueden ser muy compactos por las excelentes características de transferencia del calor que posee el agua. Se utilizan diversos tipos de construcción incluyendo el de casco y serpentín, casco y tubo, y tubo dentro de tubo. Normalmente el agua de enfriamiento se desplaza a través de tuberías o serpentines en el interior de una carcasa sellada en la que se descarga el gas caliente procedente del compresor. Una

vez condensado el refrigerante éste puede salir por la línea de líquido siendo de este modo innecesario el empleo de un recipiente separado.

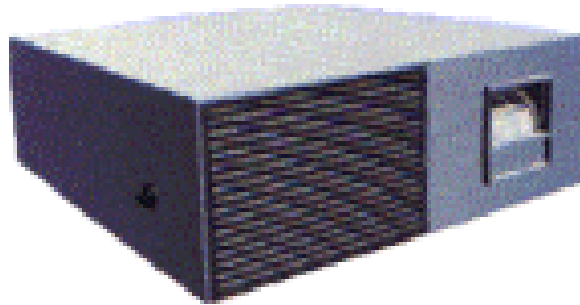


Figura 6. Condensador Enfriado por Agua. Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

1.3.2.3 EVAPORADOR

El evaporador constituye (junto con el condensador) un ejemplo del tipo de equipo conocido como intercambiador de calor. El intercambiador de calor es uno de los equipos industriales más utilizados, prácticamente no existe industria en la cual no se encuentre, especialmente dentro de la industria de alimentos, bebidas y licores. Tiene como objetivo proveer una transferencia continua y eficiente desde el medio que se desea enfriar, al fluido refrigerante.

1.3.2.3.1 TIPOS DE EVAPORADORES

Los intercambiadores de calor normalmente se clasifican de acuerdo con el arreglo del flujo y el tipo de construcción (Incropera y De Witt, 1999).

De acuerdo con la disposición de las corrientes tenemos básicamente tres arreglos diferentes:

- Flujo paralelo o corriente paralelas.
- Contra flujo o contra corriente.

- Flujo cruzado o corrientes cruzadas.

- FLUJO PARALELO O CORRIENTES PARALELAS

Cuando el fluido frío y el fluido caliente entran al intercambiador por el mismo extremo, fluyen en la misma dirección y salen por el mismo extremo (Incropera y De Witt).

- CONTRA FLUJO O CONTRA CORRIENTE

Los fluidos entran por extremos opuestos, fluyen en direcciones opuestas y salen por extremos opuestos (Incropera y De Witt).

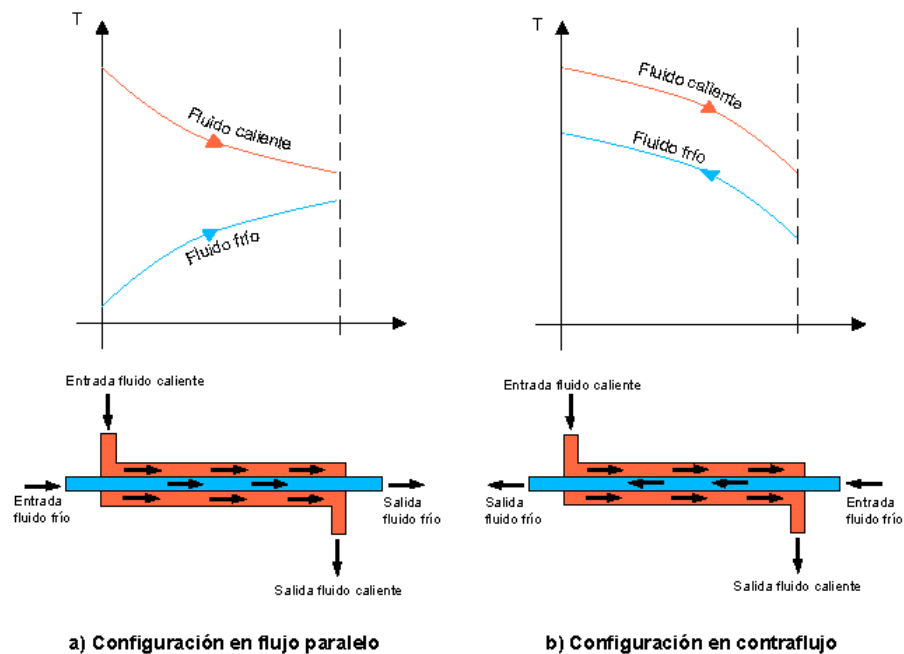


Figura 7. Tipos de intercambios de calor según la configuración del flujo.
Fuente: www.fríoycolor.cl (2007).

- FLUJO CRUZADO O CORRIENTES CRUZADAS

En este arreglo los fluidos forman un ángulo generalmente recto al cruzarse.

De acuerdo con el tipo de construcción del equipo podemos decir que existen muchas variedades de intercambiadores de calor. En ciertas ramas de la industria se han desarrollado intercambiadores muy especializados para ciertas aplicaciones puntuales. Tratar los tipos posibles sería imposible, por la cantidad y variedad de ellos que se puede encontrar. En forma muy general, se pueden clasificar según el tipo de superficie en:

1.3.2.4 INTERCAMBIADORES CON TUBOS

Los intercambiadores más habituales son los que usan tubos. Estos comprenden a los serpentines, intercambiadores de doble tubo y los intercambiadores de tubo y coraza. A continuación una breve descripción de cada uno de ellos:

- SERPENTINES SUMERGIDOS

Un intercambiador de serpentín es un simple tubo que se dobla generalmente en forma helicoidal y se sumerge en un líquido. El serpentín sumergido es una buena solución rápida y económica a necesidades no previstas de intercambio de calor, aunque existen muchos sistemas que lo utilizan en forma permanente, un ejemplo de ello es la nevera doméstica.

- DE DOBLE TUBO

El intercambiador de doble tubo es el tipo más simple que se puede encontrar de tubos rectos. Básicamente consiste en dos tubos concéntricos, lisos o aleteados. Normalmente el fluido frío se coloca en el espacio anular y el fluido caliente va en el interior del tubo interno.

- DE CORAZA Y HAZ DE TUBOS

Los intercambiadores del tipo coraza y haz de tubos son una extensión de los de doble tubo, en estos se coloca un haz de tubos de un diámetro pequeño dentro de un tubo de gran diámetro denominado coraza. Los intercambiadores de este tipo son utilizados para servicios en los que se requieren grandes superficies de intercambio, generalmente asociados a caudales muchos mayores de los que puede manejar un intercambiador de doble tubo.

- ENFRIADORES DE CASCADA (TROMBONES)

Estos equipos consisten en un banco de tubos horizontales, dispuestos en un plano vertical, con agua que cae resbalando en forma de cortina sobre los tubos formando una película. Constituye un método barato, fácil de improvisar, pero de baja eficiencia para enfriar líquidos o gases con agua que puede ser sucia, o cualquier líquido frío.



Figura 8. Intercambiador de Tubos. Fuente: www.frfoycalor.cl (2007)

1.3.2.5 INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIES PLANAS

Los Intercambiadores de Calor de superficies plana son regularmente intercambiadores compactos en los cuales la transferencia de calor de se produce a través de una placa, lisa o corrugada, entre este tipo de intercambiadores se encuentran los llamados Intercambiadores de Placas.

- INTERCAMBIADORES DE PLACAS

Un intercambiador de placas paralelas consta de un paquete de placas de metal especialmente corrugadas y provistas de orificio de paso para fluidos. El paquete se comprime mediante un marco o bastidor consistente de una placa fija y otra móvil, con tornillos de apriete que formarán un solo elemento. Las placas corrugadas tienen empaques de elastómeros adecuados al servicio, que cierran los canales y dirigen los fluidos por canales alternos. El tamaño y número de placas viene determinado por el caudal, propiedades físicas, temperatura y la caída de presión de los fluidos. Normalmente las conexiones están localizadas en la placa fija del marco o bastidor, esto permite la apertura del equipo sin necesidad de desconectar ninguna tubería,

pero, si es un equipo con más de un paso también tendrá conexiones en la placa móvil. La utilización del intercambiador de calor de placas ofrece, entre otras, las siguientes ventajas:

- Menores costos de mantenimiento: menor tiempo para realizar mantenimiento mayor, no se requieren equipos especiales de limpieza ni de apertura, fácil acceso para inspección, bajos factores de ensuciamiento.
- Diseño modular: fácilmente adaptable a nuevas condiciones de operación, adicionando o quitando placas, un mismo equipo puede realizar diferentes procesos.
- Tamaño compacto: menor peso, ahorro en instalaciones y maniobras.
- Bajo volumen de retención: 80 a 90% menor volumen de retención fácil de drenar, lo cual se refleja en importantes ahorros cuando se utilizan fluidos costosos.
- Aproximaciones de temperaturas más cercanas: hasta 1°C de aproximación de temperatura entre dos medios, maximizando la posibilidad de recuperación de calor.
- Diseño higiénico: su diseño es higiénico, de cara a su aplicación en la industria de alimentos.

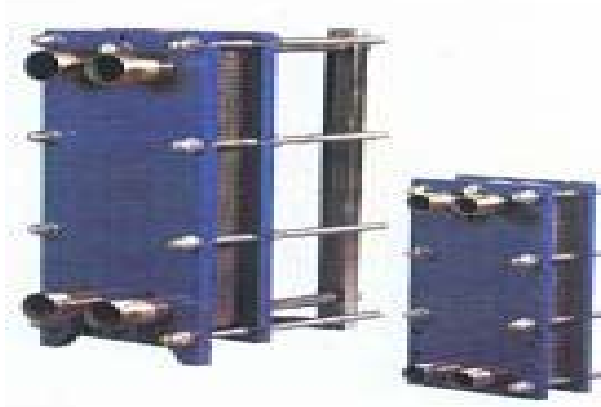


Figura 9. Intercambiador de Placas. Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

Los intercambiadores de placas tienen su mayor atractivo en el hecho de que se pueden armar y desarmar con facilidad, y se adaptan bien en servicios sensibles a la temperatura. Otro atractivo importante es que, a diferencia de cualquier otro equipo de intercambio de calor, los intercambiadores de calor de placas pueden expandirse, es decir, pueden aumentar la superficie de intercambio, dentro de límites razonables, para aumentar su capacidad. Esto no se puede hacer con los tipos convencionales de intercambiadores de calor excepto con el de doble tubo. Debido al elevado grado de turbulencia que permite alcanzar la disposición del líquido en forma de capa delgada, que además se ve sometida a constantes cambios de dirección, este tipo de intercambiadores permite operar con líquidos viscosos. Por estas características estos intercambiadores tienen su mayor aplicación dentro de las industrias farmacéuticas y de alimentos.

Entre sus principales limitaciones podemos citar su rango limitado de presiones y temperaturas operativas.

- DESCRIPCIÓN DE LAS PLACAS

Las placas se fabrican por estampado en frío usando materiales sumamente resistentes a la corrosión como aceros inoxidables, titanio, tantalio, etc.

La forma, tamaño y disposición del corrugado estampado en las placas determinan el coeficiente de transferencia de calor así como la resistencia que ofrece al flujo. Las placas son fabricadas utilizando métodos de conformado en frío, logrando espesores de hasta 0.5 mm.

El corrugado cumple con la función de aumentar la rigidez de la placa, además de inducir la turbulencia en el fluido para aumentar la transferencia de calor. Se debe tener en cuenta que los tipos de placas que producen mayor coeficiente de transferencia de calor también ofrecen mayor resistencia al flujo. El diseño del corrugado de las placas es muy variado y cambia de un fabricante a otro, siendo este uno de los secretos mejor guardados de esta industria.

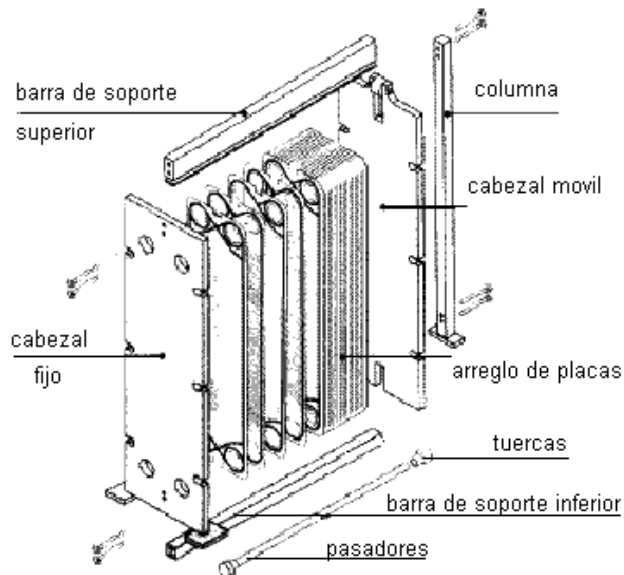


Figura 10. Esquema de un Intercambiador de Placas. Fuente: www.fríoycalor.cl (2007)

- DESCRIPCIÓN DE LAS JUNTAS

La separación de los fluidos, al resto del equipo, se hace por medio de una junta que puede ser de distintos materiales según el servicio, la función de éstas es además mecánica, por que actúan como separadores manteniendo constante el espacio entre las placas. Son fabricadas utilizando diferentes elastómeros y moldeadas en una sola pieza. El material de la junta se selecciona considerando la compatibilidad del elastómero con los fluidos y la temperatura de operación. El punto débil del intercambiador de placas es la junta ya que la gran mayoría de las fugas se producen por deterioro de las mismas. Por otra parte la temperatura de operación está limitada por la máxima temperatura que puede soportar el material de la junta, cuyos valores se dan en el cuadro siguiente.

Tabla 1. Temperatura máxima de operación de las juntas

Material de la junta	Temperatura máxima (°C)
Caucho estireno	70
caucho nitrilo, viton	100
Caucho butilo, neopreno	120
Silicona	140

- FUNCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS

La transferencia de calor en el Intercambiador de Placas ocurre cuando los fluidos frío y caliente circulan en corrientes paralelas y en contraflujo, en canales contiguos del intercambiador.

La circulación de los fluidos dentro del arreglo de placas se realiza de forma alternada, así si el fluido caliente circula por los canales impares (1, 3, 5...), el fluido frío circulara por los canales pares (2, 4, 6...).

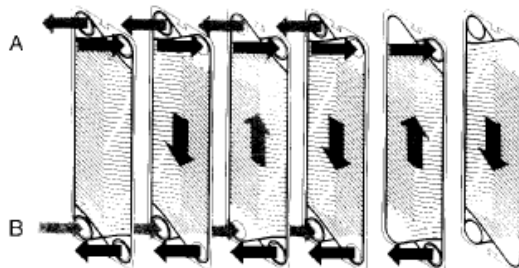


Figura 11. Esquema de funcionamiento de un Intercambiador de Placas.
Fuente: www.fríoycalor.cl (2007)

Las juntas forman el canal de flujo, evitan las fugas y direccionan los fluidos. Estas son diseñadas y colocadas de forma tal que los fluidos nunca se mezclen, colocando puntos de drenaje al ambiente en el área entre las juntas que forman el canal de uno de los fluidos y la junta que forma el canal de pase entre placa y placa del otro fluido, de manera que si ocurriese alguna fuga esta sería al ambiente.

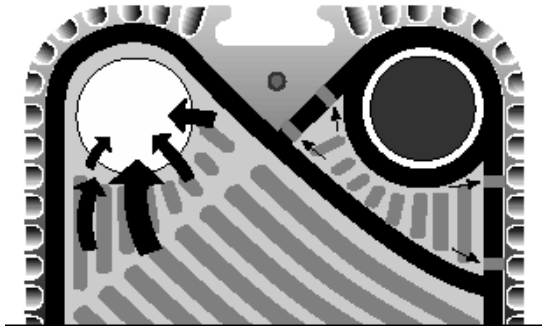


Figura 12. Juntas del Intercambiador de Placas.
Fuente: www.fríoycalor.cl (2007)

- INTERCAMBIADORES COMPACTOS

Los intercambiadores compactos han sido desarrollados para servicios muy específicos y no son habituales. Existen muchos diseños distintos, para los que no hay una metodología general. Cada fabricante tiene sus diseños y métodos de cálculo propios. Inclusive se han desarrollado intercambiadores de calor compacto apoyados en otros desarrollos como los intercambiadores de calor de placas soldadas.



Figura 13. Intercambiador de compacto (placas soldadas).
Fuente: www.funke (2007)

1.3.2.6 VÁLVULAS TERMOSTÁTICAS DE EXPANSIÓN

El dispositivo más comúnmente utilizado para controlar el flujo del refrigerante líquido en el evaporador es la válvula termostática de expansión. Un orificio en la válvula controla el flujo que entra en el evaporador, siendo regulado el tipo de flujo, según se requiera, mediante un vástago y asiento de tipo aguja que varía la abertura del orificio.

La aguja está controlada por un diafragma sujeto a tres fuerzas. La presión del evaporador es ejercida debajo del diafragma y tiende a cerrar la válvula. La fuerza de un resorte de sobrecalentamiento es asimismo ejercida debajo del diafragma en la dirección de cierre. Opuesta a estas dos fuerzas se encuentra la presión ejercida por la carga en el bulbo térmico que está unido al tubo de succión a la salida del evaporador.

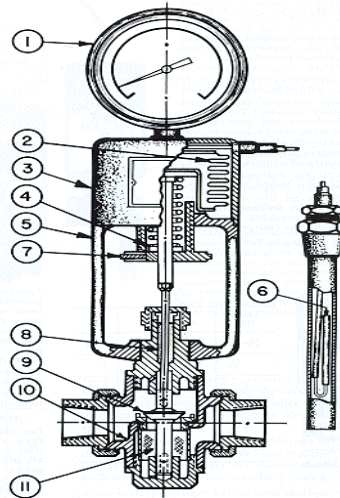


Figura 14. Válvula Termostática de Expansión.
Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

1.3.2.7 DISTRIBUIDORES

Cuando la carga de refrigeración es tal que se requieren grandes evaporadores, se hacen necesarios circuitos múltiples de refrigerante para evitar una excesiva caída de presión a través del evaporador. Con el fin de asegurar una alimentación uniforme de la válvula de expansión para cada uno de los circuitos, se utiliza normalmente un distribuidor de refrigerante. A medida que el refrigerante líquido se alimenta a través de la válvula de expansión, una porción de éste se convierte en vapor para reducir la temperatura del líquido a la temperatura del evaporador. Esta combinación de líquido y gas se alimenta en el distribuidor, y a continuación se reparte uniformemente a través de pequeños tubos alimentadores, cuyo número depende de la construcción del distribuidor y del número de circuitos requeridos para proporcionar una adecuada velocidad del refrigerante en el

evaporador. Si no fuera por el distribuidor, el flujo de refrigerante se separaría en capas de gas líquido, dando como resultado que algunos circuitos del evaporador quedarán sin alimentarse suficientemente. Para evitar diferencias en la alimentación de los circuitos, se debe tener cuidado que cada circuito tenga la misma longitud para así ofrecer la misma resistencia.



Figura 15. Distribuidores Fuente: www.frioycalor.cl (2007)

1.3.2.8 TUBOS CAPILARES

Los tubos capilares son muy utilizados para el control del refrigerante líquido en equipos unitarios pequeños tales como acondicionadores de aire tipo paquete, equipos de refrigeración doméstica y vitrinas para refrigeración comercial. Un tubo capilar es una longitud de tubo cuyo diámetro interno se mantiene dentro de tolerancias extremadamente pequeñas. Este se emplea como un orificio fijo para desempeñar la misma función que la válvula de expansión, separando los lados de alta y baja presión del sistema y controlando la alimentación de refrigerante líquido.

El tubo capilar, por carecer de partes móviles, es simple y está exento de averías si se mantiene libre de materiales extraños. Un tubo capilar es de

diámetro muy pequeño y es necesario que esté limpio y seco, siendo requisito indispensable que la unidad sea sellada en la fábrica.

El tipo de alimentación es relativamente inalterable por ser fijo el orificio. En condiciones de carga constante y presiones de descarga y succión constantes el tubo capilar actúa muy satisfactoriamente. Sin embargo; cambios en la carga del evaporador o fluctuaciones en la presión de descarga puede producir una sobrealimentación o una escasez en el evaporador.

Una de las principales ventajas del tubo capilar, en ciertos sistemas, consiste en el hecho de que el refrigerante continúa fluyendo al evaporador después de detenerse el compresor, igualando las presiones en los lados de alta y baja del sistema, lo que permite el empleo de motores de bajo arranque.

La carga de refrigerante resulta crítica en los sistemas de tubos capilares, puesto que normalmente no existe un recipiente para almacenar el exceso de refrigerante. Demasiado refrigerante producirá altas presiones de descarga así como la sobrecarga del motor y la posible inundación del compresor durante la interrupción del ciclo; una carga de refrigerante muy escasa permitirá que el vapor penetre en el tubo capilar motivando una pérdida de la capacidad del sistema.

El sistema de tubos capilares es el más económico de todos los sistemas de control de líquido debido a su simplicidad, la eliminación del recibidor y el reducido par de arranque que requiere.



Figura 16. Tubos Capilares. Fuente: www.frioycalor.com (2007)

1.4 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA PARA UN VOLUMEN DE CONTROL

La cantidad de energía térmica y mecánica que ingresa en un volumen de control, más la cantidad de energía térmica que se genera dentro del volumen de control, menos la cantidad de energía térmica y mecánica que salen del volumen de control debe ser igual al incremento en la cantidad de energía almacenada en el volumen de control (Incropera y De Witt, 1999)

$$\dot{E}_{ENT.} + \dot{E}_G - \dot{E}_{SALE} = \frac{dE_{ALM}}{dt} \equiv \dot{E}_{ALM}$$

1.5 CAPA LÍMITE DE VELOCIDAD O HIDRODINAMICA

Considere un fluido circulando en contacto con una superficie plana. Cuando las partículas del fluido hacen contacto con la superficie, adquieren una velocidad cero. Estas partículas actúan entonces para retardar el

movimiento de las mismas en la placa contigua del fluido, que a su vez actúa para retardar el movimiento de las partículas en la capa siguiente, y así sucesivamente hasta que a una distancia $y=\delta$ de la superficie el efecto se hace insignificante. Este retardo o desaceleración del movimiento del fluido se asocia con los esfuerzos cortantes que actúan en planos que son paralelos a la velocidad del fluido. La cantidad δ se denomina espesor de la capa límite.

1.6 CAPA LÍMITE TÉRMICA

Así como se produce una capa límite hidrodinámica cuando hay un paso de fluido sobre una superficie, también se produce una capa límite térmica si difieren las temperaturas del flujo libre del fluido y de la superficie. Las partículas del fluido que hacen contacto alcanzan el equilibrio térmico a la temperatura de la superficie de la placa. A su vez, estas partículas intercambian energía con la de la capa adyacente del fluido y se produce en el fluido gradientes de temperatura. La región del fluido donde se produce este gradiente de temperatura es la capa límite térmica.

1.7 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

El concepto de flujo laminar o turbulento está directamente asociado a la capa límite. Se está en presencia de flujo laminar cuando el movimiento de la capa límite sea ordenado y pueda definirse en estas líneas de flujo a lo largo de las cuales se mueven las partículas. En cambio, cuando se tiene un flujo turbulento su movimiento es altamente irregular y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad. La transferencia por convección depende en gran medida de en cuál de estas condiciones se encuentre el fluido.

1.8 PARÁMETROS ADIMENSIONALES QUE SE RELACIONAN CON LAS CONDICIONES DE LA CAPA LÍMITE

1.8.1 NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds representa la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas en la capa límite hidrodinámica (Incropera y De Witt, 1999).

$$\text{Re}_L \equiv V * \frac{L}{\nu}$$
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde V es la velocidad a contracorriente de la superficie, ν es la difusividad del momento, μ representa una propiedad del fluido llamada viscosidad dinámica y ρ representa la densidad del fluido. El número de Reynolds es un parámetro adimensional.

1.8.2 NÚMERO DE PRANDTL

El número de Prandtl proporciona una medida de la efectividad relativa del transporte de momento y energía por difusión en las capa límite hidrodinámicas y térmicas, respectivamente (Incropera y De Witt, 1999).

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}$$
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Y α es la difusividad térmica.

El número de Prandtl es un parámetro adimensional.

1.8.3 NÚMERO DE NUSSELT

Este parámetro es igual al gradiente de temperatura adimensional en la superficie y proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie (Incropera y De Witt, 1999).

$$Nu = \frac{h * l}{k_f}$$

El número de Nusselt es para la capa límite lo que el coeficiente de fricción es para la capa límite de velocidad. En este h representa el coeficiente de convección local, L es la longitud y k_f es la conductividad térmica del fluido. El número de Nusselt es un parámetro adimensional

1.8.4 DIFERENCIA MEDIA LOGARITMICA DE TEMPERATURA

Cuando se grafican la temperatura en función de la longitud del intercambiador se pueden dar dos situaciones típicas. En la primera ambas temperaturas, t (la temperatura del fluido frío) y T (la temperatura del fluido caliente) varían simultáneamente; t lo hace creciendo desde t_1 hasta t_2 y T disminuye desde T_1 hasta T_2 .

Dentro del volumen de control, para cualquiera de los dos casos, se tiene que:

$$\dot{q}_{TRANSFERIDO} = \dot{q}_{RECIBIDO}$$

En la otra situación que se puede dar en contracorriente uno de los dos fluidos experimenta un cambio de fase y su temperatura permanece constante durante todo el proceso o en una porción del mismo.

En cualquiera de los casos, la variación de una o ambas temperaturas puede ser lineal pero lo habitual es que no lo sea.

1.9 CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE INTERCAMBIO

Cuando se debe elegir un determinado intercambiador es preciso tomar en cuenta una gran cantidad de factores que condicionan la decisión final sobre cuál ha de ser el intercambiador, es decir, de que tipo y tamaño.

El primer paso para esta decisión ha de ser recabar toda la información pertinente de los fluidos de intercambio: propiedades térmicas (calor específico, viscosidad y conductividad), temperaturas y caudales.

El segundo paso será calcular la superficie necesaria. Aquí es donde aparecen las complicaciones, porque cada tipo de intercambiador tiene métodos de cálculo diferente, algunos bastante engorrosos. La causa de este problema es la siguiente:

La ecuación de intercambio de calor es un simple balance de energía basado en el Primer Principio para sistemas abiertos, en el que se fijan las fronteras para que contengan solo al equipo de intercambio y se desprecian

las distribuciones de energía cinética y potencial. El balance de energía mecánica orientado a calcular la resistencia del flujo suele hacerse por separado, y debe coincidir con el de energía térmica en cuanto a las condiciones de flujo. Podemos escribir la ecuación básica de balance del intercambio de calor en la siguiente forma general:

$$q = U * A * \Delta T$$

Donde: U=Coeficiente global de intercambio de calor.

A=Área de intercambio de calor.

ΔT =Diferencia de temperatura “efectiva”.

Esta ecuación es engañosamente simple, porque no toma en cuenta la diferencia geométrica de los distintos equipos, que tiene una influencia enorme en la magnitud del intercambiador de calor. Tampoco aparecen en ella las diferencias entre fluidos distintos, que sin duda tienen un comportamiento particular, ni el hecho de que pueda existir cambio de fase durante el intercambio. Sin embargo, estas diferencias influyen en el cálculo del coeficiente global U y de la diferencia de temperatura ΔT .

CAPITULO II

ASPECTOS RELACIONADOS CON EL PRODUCTO A PROCESAR

CAPITULO II: ASPECTOS RELACIONADOS CON EL PRODUCTO A PROCESAR

2.1 EL VINO Y SUS CARACTERÍSTICAS

2.1.1 Origen

El vino tiene una larga historia y se le considera una de las primeras creaciones del hombre y ha ocupado un lugar privilegiado en varias de las más importantes civilizaciones de la humanidad. Se han encontrado rastros arqueológicos que hablan de una relación entre el hombre y el vino que datan de unos 8000 años a.c. es por lo tanto imposible saber quien fue el primer viticultor, sin embargo, debido a que la uva es un fruto con una tendencia natural a fermentar, es fácil imaginar a un hombre de la edad de piedra depositando unas uvas maduras en un recipiente y estas al entrar en contacto con las levaduras presentes en su piel fermentarse para producir vino.

Todas las grandes civilizaciones han estado asociadas con la viticultura, los griegos y romanos le dan una gran importancia al vino llegando a adorar dioses asociados a este (Baco y Dionisio), los egipcios fueron los primeros en “etiquetarlos” colocando en estas el nombre del viñedo, del vinificador y la añada. Los chinos fueron los primeros en reglamentarlo y los babilonios llegaron a promulgar leyes reglamentando la explotación de una tienda de vinos. Cada una de estas grandes civilizaciones hizo su aporte hasta llegar al desarrollo de la industria vinícola que tenemos en nuestros días.

2.1.2 Definición del producto

El vino es una bebida alcohólica elaborada por fermentación del jugo, fresco o concentrado, de uvas. Su nombre proviene de la variedad '**Vitis Vinífera**' que es la variedad de uva de la que descienden la mayoría de las utilizadas para la elaboración de vinos. El vino es una solución hidroalcohólica, compuesto por una compleja mezcla de mas de 400 compuestos químicos y orgánicos disueltos en suspensión coloidal que confieren un sabor, una textura y aroma particular, que en su conjunto constituyen el “flavor” o “bouquet”. De acuerdo a la Organización Internacional de la Viña y el Vino - IVV (2008), el vino es el resultado de la fermentación biológica y natural de la uva entera o de su mosto, llevada a cabo por microorganismos presentes en el medio ambiente de la bodega, en la superficie de la propia uva o agregados por el hombre.

En cuanto a la legislación venezolana, según la Norma **COVENIN 3342:1997** referida al Vino y sus derivados., este producto “Es la bebida alcohólica resultante de la fermentación total o parcial de la uva fresca, el fruto de la *vitis vinífera* L. incluyendo variedades híbridas, obtenido por medios físicos.” Indica la norma que su graduación alcohólica no será menor a 7 °GL ni mayor a 14 °GL.

Cabe destacar que las características particulares del vino varían según el territorio donde se cultiva la uva, el tipo de suelo, la región vitícola, el clima, la variedad de uva, las tareas de cultivo, el procesamiento y el almacenamiento.

2.1.3 Mercado del vino

El vino ha sido a lo largo de la historia de gran importancia para muchos países social, cultural y económicamente, existiendo países y regiones donde la producción del vino conforma su principal motor económico siendo fuente de comercio, empleo, divisas y riqueza. De allí la importancia de realizar inversión en desarrollo tecnológico que propicie la mejora en la eficiencia en los procesos de cultivo, fabricación y comercialización del producto.

El Mercado en términos generales se define como área dentro de la cual los vendedores y los compradores mantienen estrechas relaciones comerciales, y llevan a cabo transacciones, en tal sentido dos parámetros que intervienen en la actividad son: la oferta y la demanda. En el mercado del vino la oferta viene dada por el conjunto de productores de vino y la demanda por los diferentes consumidores.

2.1.4 Mercado mundial del vino.

La producción de vino está relacionada directamente por la superficie de uvas cultivada. Según la Organización Internacional de la Viña y el Vino en su informe de coyuntura mundial del 2008 la superficie vitícola mundial total, se ubicó en el periodo 2006 y 2007, en alrededor de 7.900 millones de ha. Distribuido de la siguiente manera:

Tabla 2. Superficie vitícola mundial

País	Superficie ha.	País	Superficie ha.
España	1169	Grecia	116
Francia	867	Alemania	102
Italia	840	Bulgaria	100
Turquía	525	Brasil	100
China	490	Hungría	75
EEUU	409	Austria	50
Portugal	248	Nueva	30
Argentina	230	Suiza	15
Rumania	205	Otros Asia	665
Chile	197	Otros Europa	600
Australia	174	Otros África	261
Moldavia	147	Otros América	77
Sudáfrica	135	Otros Unión europea	70

Fuente: Organización Internacional de la Viña y el Vino (2008)

Con relación a la producción mundial de vinos el mismo informe reporta para el año 2007 alrededor de los 270,3 millones de hectolitros (sin incluir la producción de zumos y mostos), siendo los principales países Italia, Francia y España, como se muestra a continuación:

Tabla 3. Producción mundial de vinos

País	Volumen (Mill de hectolitros)	País	Volumen (Mill de hectolitros)
Italia	45.900	Chile	8.227
Francia	45.400	Portugal	5.762
España	34.700	Grecia	3.500
EEUU	20.000	Brasil	3.337
Argentina	15.046	Austria	2.628
Alemania	10.500	Nueva Zelanda	1.476
Sudáfrica	9.840	Suiza	1.040
Australia	9.620	otros	260

Fuente: Organización Internacional de la Viña y el Vino (2008)

En cuanto a la demanda, igualmente el informe indica que el consumo de vinos para el 2007 se ubicó en unos 240,6 millones de hectolitros, con una tasa de crecimiento de 1,5 millones de hectolitros/año, distribuido como se indica a continuación.

Tabla 4. Demanda mundial de vinos

País	Volumen	País	Volumen
Francia	32.169	Grecia	3.300
Italia	26.900	Brasil	3.300
EEUU	26.500	Bélgica	3.060
Alemania	20.268	Chile	2.800
España	13.271	Suiza	2.505
Reino Unido	12.100	Austria	2.500
Argentina	11.166	Suecia	1.600
Rumania	5.080	Dinamarca	1.600
Australia	4.795	Nueva	887
Portugal	4.700	Irlanda	734
Sudáfrica	3.566	Noruega	658
Países Bajos	3.510	Finlandia	530
		Otros	53.101

Fuente: Organización Internacional de la Viña y el Vino (2008)

2.1.5 Mercado del vino en Venezuela

Según indica Bianco y Medina (2001), en Venezuela, la uva fue introducida por los españoles en la época de la colonia en las ciudades de Coro y Cumana y no es sino hasta fines del siglo pasado con la llegada de los inmigrantes europeos (españoles, italianos y portugueses), que comienzan los primeros ensayos de cultivo de la vid, no sólo como alimento sino también para elaborar el vino. Los primeros vinos comerciales empiezan a producirse

en el país a mediados del siglo a partir de mostos concentrados importados debido a la pobre adaptación de las variedades de uva a las condiciones climáticas.

Los inicios de la industria vitivinícola venezolana datan de 1960, cuando se funda **CORPORACIÓN CAVIDES**. Entre los productos elaborados por CAVIDES se encuentra el Gran Vino Sansón, la Sangría Real, los vinos Monastrel, El Tocuyo y San Andrés (con 100% de uvas del Zulia) y champagne Concorde. Hace 37 años El Greco comenzó vendiendo los vinos Castel Gandolfo; actualmente, además de vinos, produce licores dulces como Zambuca Greco, Marceillais Licorese, Fernet Greco (menta) y Amaretto Greco; también vino en garrafas, vinos dulces, moscateles espumosos, vermut (rojo y blanco) vodka (Zarapkowa), ginebra (Oldmoor) y champagne de Veuve Greco. El Greco se produce en una planta de 27.000 m² en Boleita, así como en Los Teques y en una planta nueva en Guarenas. (Bianco y medina, 2001)

El crecimiento de la industria vitivinícola venezolana ha sido irregular desde 1983, cuando se reportó un pequeño incremento del 3,7%. A ello siguió un aumento significativo del 17,8% en 1984 en lo que parecía señalar el inicio de un auténtico mercado para el vino producido en el país. Las Empresas Polar (Venezuela) y Martell (Francia) constituyeron una empresa mixta vinatera en 1984, bajo el nombre de Bodegas Pomar, después de investigar las oportunidades de producción de vino venezolano, con cepas cultivadas en el país. (Bianco y Medina, 2001)

Para el año 2001 existían ya un grupo de tres organizaciones que producían y producen mostos con uva local, como son: el Instituto de la Uva de la Universidad Lisandro Alvarado en El Tocuyo (estado Lara), Bodegas

Pomar en Carora (estado Lara) y el Centro de Desarrollo Vitícola Tropical y Vinícola del Zulia en el estado Zulia. Actualmente, en Venezuela siguen existiendo empresas que utilizando mostos concentrados para elaborar sus productos, como es el caso del Complejo Licorero del Centro, organización que produce el Vino espumoso Alexander. (Bianco y Meidna, 2001)

Se puede considerar que en los actuales momentos existe un auge en las ventas de vinos en Venezuela. De hecho, la categoría viene creciendo desde hace tres años debido al auge gastronómico que se ha gestado en el país. Para el año 2006 hubo un consumo un millón de cajas de vino, lo que se traduce en un crecimiento de 25 por ciento con respecto a las ventas de 2005, que llegaron a unas 750 mil cajas. De ese total, 300 mil corresponden a vinos locales (30 por ciento) y 700 mil a los importados (70 por ciento) Para el año 2007 el consumo en Venezuela se ubicó en 12 millones de litros (Méndez, 2006).

2.1.6 Tipos de vinos.

Los vinos pueden ser clasificados de muchas formas no siendo excluyentes unas entre otras, siendo las mas comunes las clasificación basadas en la técnica de producción, los colores y el grado de dulzor. De acuerdo con Onofre (2003), los vinos se clasifican en:

2.1.6.1 Tipos vinos según las técnicas de producción.

- Vinos Calmos o Naturales

Son aquellos que se hacen desde el mosto, y que es fermentado en forma natural, o con algún aditivo en cantidades controladas como levaduras,

azúcar o cantidades muy pequeñas de anhídrido sulfuroso (SO_2). Estos vinos son de una graduación alcohólica que va desde el 10% al 15%, ya que se les detiene la fermentación alcanzando estos valores. Son los habitualmente conocidos como blancos, tintos y rosados.

- Vinos Fortificados o Fuertes

Reciben alguna dosis de alcohol, usualmente un brandy de uvas, en alguna etapa de su vinificación. Las interferencias controladas tipifican la producción y características de los vinos fuertes resultando el Vermouth, Jerez, Marsala, Madeira y Oporto. El contenido alcohólico de estas variedades va desde los 16° a los 23° (grados por volumen).

- Vinos Espumantes

Son aquellos del tipo del Champagne, los cuales tienen dos fermentaciones. La primera que es la habitual del vino natural, y una segunda que tiene lugar en la botella. Si se trata de vino espumoso, este se elabora según distintos métodos, siendo el más barato el de carbonatación forzada usando dióxido de carbono. Los de calidad son aquellos que no cuentan con aditivos y su segunda fermentación es alcanzada por añejamiento. En todos los casos los vinos espumantes presentan cierta sedimentación, donde los de calidad son sedimentados utilizando distintas técnicas que pueden incluir auxilios mecánicos y reapertura de las botellas, previo a su comercialización.

-2.1.6.2 Tipos de vinos según el color.

- Vinos Tintos

El color del vino proviene del color de la piel de la uva, donde el mosto es dejado en contacto con la piel de la uva hasta que se alcance un color deseado. Toda la materia colorante, además de múltiples compuestos saborizantes y taninos, se encuentran en los hollejos de las uvas y la fermentación y maceración se encargan de liberarlos.

- Vinos Blancos

Los vinos blancos son aquellos producidos a partir de uvas verdes o blancas; o bien a partir de uvas negras aunque en estos casos nunca se deja al mosto en contacto con la piel de las uvas. El color obtenido en los vinos blancos es de tono verdoso o amarillento.

- Vinos Rosados

El rosado (rosé) es producido dejando el mosto en contacto por un tiempo breve con la piel de las uvas. Suele producirse utilizando uvas rojas que permanecen en contacto con los hollejos (piel de la uva) por breves períodos. Según su edad suele clasificarse en cuatro tipos:

- **Sin crianza:** Vinos del año.
- **Con crianza:** 1 año al menos en barrica de roble.
- **Reserva:** 1 año al menos en barrica de roble y 2 años más en botella.
- **Gran reserva:** Más de 2 años en barrica de roble y 3 más en botella.

2.1.6.2 Tipos de vinos según el grado de dulzor.

En esta clasificación es frecuente en vinos espumosos y generosos. Viene dado por el contenido de azúcares del vino la cual puede comprender los siguientes valores promedio.

- **Vinos secos:** Contienen menos de 5 gramos por litro de azúcares.
- **Vinos semisecos:** Contienen de 5 a 15 gramos por litro de azúcares.
- **Vinos abocados:** Contienen de 15 a 30 gramos por litro de azúcares.
- **Vinos semidulces:** Contienen 30 a 50 gramos por litro de azúcares.
- **Vinos dulces:** Contienen más de 50 gramos por litro de azúcares.

2.1.7 Fabricación del vino espumoso

Existen una serie de métodos de producción de vino espumoso que se emplean en diferentes áreas geográficas cada uno con sus propias peculiaridades, ventajas y desventajas.

El espumoso se define como un vino que, a 20° C, en un recipiente cerrado, contiene un exceso de dióxido de carbono que le confiere una presión superior a 3 bares. Para comprender los diferentes tipos de vino espumoso y sus distintos procesos de elaboración, es necesario antes distinguir la procedencia de las burbujas, si son endógenas o exógenas.

El exceso de presión característica de los vinos espumosos. Pueden proceder exclusivamente de la fermentación secundaria del alcohol de un vino base tranquilo obtenido por los métodos tradicionales de fabricación. En estos casos los vinos espumosos deben madurar en las bodegas productoras durante un período mínimo de tiempo, que empieza a partir del

inicio de la segunda fermentación o toma de espuma. La otra vía de generación de presión es a través de la adicción de gas carbónico a un vino tranquilo, en cuyo caso se tratará de un producto en el que el gas desaparece rápidamente porque no ha podido integrarse dentro del vino, de menor calidad, pero de precios más asequibles para el consumidor.

En el proceso de fabricación de los vinos se utilizan dos técnicas para la eliminación de partículas suspendidas y la turbidez del vino antes de ser envasado. Estas técnicas son a clarificación y la filtración.

- La clarificación de los vinos

La clarificar es un proceso de eliminación de impurezas muy utilizado en los procesos vitícolas en la que realiza la adición de un clarificante y la posterior agitación del vino para realizar una buena mezcla. El clarificante funciona como un agente floculante que actúa atrapando las partículas en suspensión que posteriormente precipitarán con partículas atrapadas al fondo del tanque. Posteriormente se hace un trasiego con precaución obteniéndose sí un vino limpio. (El catavino, 2008)

Dentro de las diferentes alternativas de productos para la clarificación de los vinos se pueden mencionar: albúmina de huevo atomizada, bentonita cálcica en polvo, bentonita sódica natural granulada, bentonita sódica pura activada, caseína láctica, caseína ácida alimentaría, soluciones de cola-gelatina y gel de sílice en polvo.

- La filtración de los vinos

En el proceso de fabricación de los vinos, de acuerdo a Vinos y Bodegas, 2008, se prefiere la filtración cuando se busca la detención o el retardo de la fermentación, en los casos en que los vinos son sometidos al frío o a la pasterización y cuando se tratan de vinos comunes de consumición rápida.

En el mecanismo de filtración las sustancias presentes en el vino pueden encontrarse en suspensión y en estado coloidal y ambas serán eliminadas por acción mecánica y por acción física.

En la acción mecánica las partículas no pasan a través de la masa filtrante que actúa de tamiz, al ser su diámetro mayor que el de los poros del filtro. Así se elimina la mayor parte de las sustancias que enturbian el vino. En la acción física o adsorción superficial, las partículas de diámetro menor a los poros del filtro quedan retenidas. De aquí se deriva una clasificación de capas filtrantes, que se dividen en dos categorías: las que trabajan por adsorción y la que lo hacen por tamizado.

Los filtros tamizantes son los que actúan por sedimentación y suelen estar constituidos por fibras especiales. El filtro actúa como un cedazo que retiene las partículas en suspensión. Por otra parte, los filtros adsorbentes operan a través de un fenómeno superficial de atracción, de adhesión, que se produce en la capa separadora de dos medios diferentes. Estos filtros suelen estar constituidos por celulosa.

2.1.8 Métodos de Fabricación de los vinos espumosos.

De acuerdo a Mundo Alimentario (2005) algunos de los métodos mas utilizados para la producción de los vinos espumosos son:

- Método Ancestral

Este fue, probablemente, el primer método desarrollado para la elaboración de vinos espumosos. Empieza con la elaboración del vino base mediante las técnicas clásicas de elaboración de vinos tranquilos a media fermentación. En la segunda fase se transforma este vino base, que contiene azúcar residual, en vino efervescente o espumoso. La fermentación secundaria o toma de espuma se produce en las botellas sin adición de azúcar (sin licor de tiraje o de expedición), y se detiene el proceso simplemente eliminando las levaduras. El sedimento es insignificante en volumen y no hay degüelle, que es la operación que se realiza a los vinos espumosos naturales elaborados mediante el sistema tradicional donde se eliminan los sólidos y restos de levaduras procedentes de la segunda fermentación, acumuladas junto al tapón.

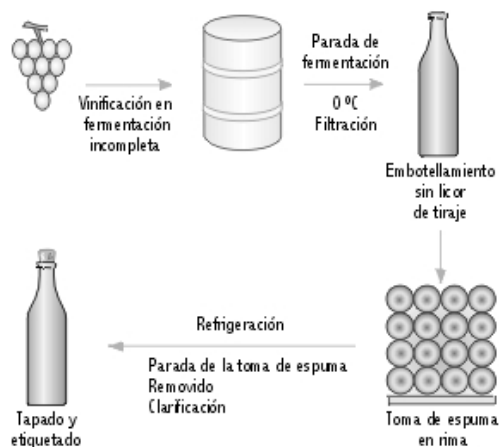


Fig. 17. Método ancestral para la elaboración de vinos espumosos. Fuente: Mundo Alimentario (2005)

- Método Champenoise, Clásico o Tradicional

Es el método de elaboración de espumosos más tradicionalmente conocido. El vino obtenido, sea champagne en Francia, clásico en Italia o cava en España, es un espumoso natural, en el que la elaboración y la crianza se hacen íntegramente en la misma botella, por introducción de vino base, las levaduras y los azúcares necesarios para desencadenar la segunda fermentación. La extracción de las lías de las levaduras, restos orgánicos de los responsables de la segunda fermentación, deja el vino a punto para su consumo, directamente de la misma botella donde empezó el proceso, meses antes. El envejecimiento se efectúa almacenado las botellas dirigiendo la punta hacia abajo con una inclinación que permita recoger los restos de levaduras en el cuello de la botella. Las fases finales incluyen el degüelle, dosificación del licor de expedición, taponado con el tapón de corcho y colocación de cápsula, alambre y etiquetado.

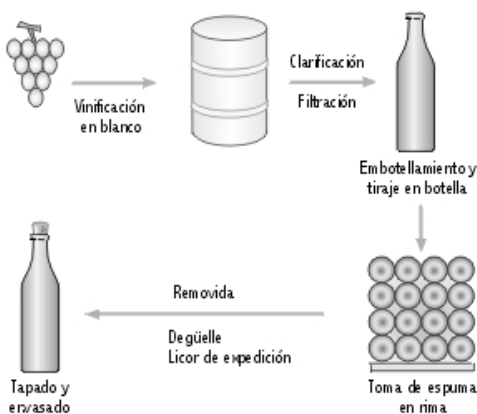


Fig. 18. Método Champenoise, Clásico o Tradicional para la elaboración de vinos espumosos. Fuente: Mundo Alimentario (2005)

- Método Charmat o de carbonatación

El método Charmat fue ideado por Jean Eugene Charmat, ingeniero francés, en el año de 1907 para facilitar la producción de grandes cantidades de vino, este método se diferencia del método tradicional por realizar la segunda fermentación en grandes tanques de acero inoxidable.

Los vinos que se elaboran para este método son los vinos carbónicos semi espumosos o vinos de aguja, con presiones de 1 a 2,5 bares a 20 °C, o vinos espumosos o carbónicos con presiones superiores a 3 bares a 20 °C. El vino base se elabora por las técnicas habituales de vinificación en blanco, el CO₂ es exógeno y se añade continuamente al flujo de vino, que ya ha sido estabilizado y enfriado a 4° C, en un proceso continuo, durante el embotellado.

El gas proviene de un tanque de reserva que lo mantiene a presión elevada y sólo se añade gas proporcionalmente al tipo de vino. Se utiliza una cápsula metálica con una medida de poro muy reducida para distribuir el gas

en finas corrientes, que se disuelve de forma instantánea en el vino, luego se embotella a contrapresión y las botellas se tapan y anillan. La efervescencia aparece cuando se abre la botella.

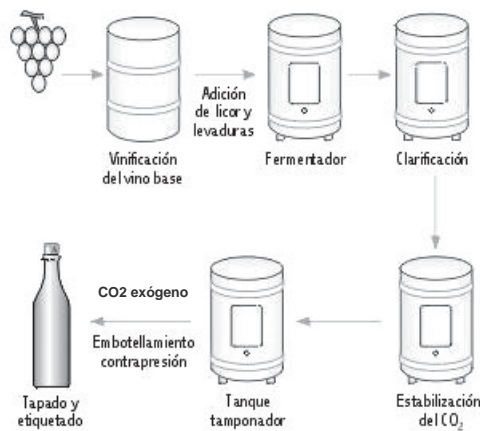


Fig. 19. Método Charmat o de carbonatación para la elaboración de vinos espumosos. Fuente: Mundo Alimentario (2005)

La carbonatación consiste en disolver CO₂ en una bebida. La cantidad de CO₂ varía según el tipo de bebida y puede ser de unos 4,2 g/l en aguas minerales hasta 14 g/l por ejemplo en vinos espumosos. A través de un sistema inyector se agrega CO₂ a la bebida mezclada dentro del tanque de carbonatación. Dentro de este recipiente bajo presión el CO₂ permanece en estado disuelto. Para garantizar un rendimiento óptimo de la llenadora la bebida debe ser alimentada a la llenadora en lo posible sin burbujas. El CO₂ es agregado al producto terminado a través de una válvula reguladora y medido regularmente por un flujómetro másico de alta precisión. El inyector de CO₂ está conectado con un conducto de circulación de forma que el líquido circula constantemente por el inyector. La dosificación de CO₂ sólo está abierta cuando el producto entra en el tanque pulmón. Krones, (2008).

2.1.9 El efecto de la refrigeración en los vinos.

La refrigeración, o tratamiento por medio del frío, consiste en enfriar los vinos a una temperatura próxima a la congelación, y dejarlo reposar durante algún tiempo a esa temperatura para clarificarlo por medio de filtrado. Entre las ventajas que obtenemos de este enfriamiento están:

- Precipitación de sales tártricas ($C_4H_4O_6^-$).
- Mayor solubilidad de gases disueltos, especialmente CO_2 y O_2 .
- Deposito de proteínas y metales en estado coloidal, materias pépticas, etc.
- Precipitación parcial de materias colorantes.
- Mejora de las propiedades organolépticas.
- Disminuye la acides.

La refrigeración de los vinos produce únicamente transformaciones físicas. De las precipitaciones provocadas de ese modo se distinguen dos clases: una precipitación de cristales (sales tártricas de potasio $C_4H_4O_6K_2$ y de calcio $C_4H_4O_6Ca$) y una precipitación coloidal (materias colorantes de los vinos tintos, complejos férricos, precipitaciones proteicas parciales). En los vinos jóvenes, esas precipitaciones son abundantes.

El frío no ejerce una acción química y el retraso de las actividades microbianas que provoca sólo es pasajero. Las levaduras o las bacterias, paralizadas un instante, reemprenden su actividad después del calentamiento del vino. Por lo tanto no hay que contar con el frío para conseguir una estabilización microbiana duradera.

2.1.9.1 Precipitación de sales tártricas:

La solubilidad de las sales tártricas disminuye durante la fermentación debido a la formación de alcohol. El vino contiene dos veces menos ácido tártrico que el mosto. Pero la cristalización es lenta, retardada si la comparamos con lo que sería en una solución modelo sin coloides.

Por otra parte, la solubilidad del bitartrato de potasio ($C_4H_4O_6K_2$) disminuye mucho cuando la temperatura desciende. La del tartrato de calcio ($C_4H_4O_6Ca$) es menos sensible a las condiciones de temperatura.

La refrigeración permite alcanzar un nuevo equilibrio de solubilidad, definitivo para el bitartrato de potasio (a menos que el vino no se haya llevado ulteriormente a una temperatura inferior a la del tratamiento), pero incompleta y temporal para el tartrato de calcio. La garantía de estabilidad ofrecida por la refrigeración, presentando frecuentemente como argumento comercial, en realidad nunca es absoluta.

Cuando se refrigera un vino, se pueden hacer las observaciones siguientes: si la refrigeración es lenta y progresiva hay formación de gruesos cristales de tártrato, pero la precipitación es incompleta. Por el contrario, si la refrigeración es rápida, hay formación de cristales muy finos, difíciles de separar y la precipitación es completa hasta el umbral de la solubilidad.

La cristalización es facilitada por la adición de gérmenes cristalinos (bajo la forma de un poco lía de un tratamiento precedente), por el removido continuo, por un filtrado y una centrifugación previa.

2.1.9.2 Mayor solubilidad de gases disueltos

Al enfriar el vino aumentamos su capacidad para contener gases como el CO_2 y O_2 los cuales permiten, al momento del descorchado de la botella, el sonido característico de los vinos espumosos y posteriormente una espuma consistente en el vino, formada mayormente de CO_2 , que escapan por el cuello de la botella y luego en el paladar del comensal.

Esta característica es de vital importancia para las casas productoras de vinos espumosos en todas sus variantes.

2.1.9.3 Precipitaciones de materias colorantes:

Los vinos jóvenes poseen una parte de sus materias colorantes en estado coloidal. Bajo esta forma las materias colorantes son solubles con el frío y el vino se enturbia. Todos los vinos suficientemente coloreados pierden rápidamente su limpidez por refrigeración próxima a los $0\text{ }^\circ\text{C}$, cuando, por ejemplo, se coloca una botella en el congelador.

Esta parte coloidal de las materias colorante se insolubiliza durante la conservación. Forma parte de la lía de los vinos jóvenes, especialmente en invierno, y el poso normal de los vinos viejos embotellados. El encolado con gelatina, con albúmina, con bentonita, arrastra el colorante coloidal. Los vinos encolados permanecen límpidos con el frío y sólo forman posos lentamente en botella. El tratamiento por el frío da resultados comparables a los del encolado. El vino refrigerado permanece límpido cuando es enfriado por segunda vez.

La estabilización así adquirida por encolado o refrigeración es por otra parte provisional para los vinos de largo almacenamiento, puesto que el colorante coloidal se reforma en algunos meses, menos abundante cada vez; pero suficiente en la práctica para varios años.

2.1.9.4 Otras precipitaciones.

De una manera general la permanencia del frío provoca floculaciones y favorece las precipitaciones coloidales de varias clases. La filtración que remata el tratamiento la facilita mucho. El frío aminora netamente el ciclo de filtración de los vinos. El encolado practicado a baja temperatura es igualmente eficaz. Pero la estabilidad coloidal definitiva no es por tanto alcanzada siempre.

Si las bajas temperaturas favorecen la insolubilización del fosfato férrico ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y de los complejos del hierro con los polifenoles, la proporción de hierro eliminado por la refrigeración es pequeña y generalmente insuficiente para asegurar la curación de un vino propenso a la quiebra. Los polifenoles son un grupo de sustancias químicas encontradas en plantas y caracterizadas por la presencia de más de un grupo fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) por molécula.

De la misma forma, la refrigeración no permite elevar el exceso de proteínas de un vino blanco y asegurar su estabilidad proteica.

2.1.9.5 Mejoras gustativas

La refrigeración de los vinos jóvenes mejora siempre considerablemente su sabor. Esta mejora es mayor cuando el vino joven es completamente

transformado, no envejecido, pero sí desprendido de sus gangas. Pasado un año de conservación lleva incluso a una pérdida del bouquet y de carácter, sobre todo para los vinos finos. Por lo tanto, en este caso, no debe utilizarse. En los vinos jóvenes la mejora gustativa va unida a la precipitación de bitartrato de potasio.

El sabor acerbo disminuye. La refrigeración suaviza el vino, pero tiene poca acción sobre las sustancias de sabor amargo y astringente, los polifenoles. El índice de permanganato no se reduce más con este tratamiento que con el encolado.

2.1.9.6 Comportamiento de la refrigeración:

La eficacia del tratamiento depende en primer lugar del nivel de enfriamiento, es decir de la temperatura mínima a la cual es llevado el vino. Para obtener de la refrigeración su máximo efecto, hace falta descender la temperatura del vino lo más baja posible, hasta casi el punto de congelación. En los vinos secos esta representado, poco más o menos, por el valor negativo de la mitad del grado alcohólico (un vino de 10° GL se hiel a -5°C y un vino de 12° GL a -6°C).

Las modalidades del tratamiento se diferencian por la duración de la acción del frío. Tradicionalmente se han utilizado procedimientos estáticos, alternando en período más o menos largo del reposo al frío. Los procedimientos modernos, buscan las cristalizaciones para operar en una sola jornada. En el procedimiento “por contacto” esta activación se obtiene por la adición previa de 4g de bitartrato de potasio ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{K}_2$) por litro de vino a tratar y agitación permanente. En otro procedimiento “en continuo”, el vino bruscamente refrigerado atraviesa un elemento cristizador.

La instalación de refrigeración incluye envases calorífugos en las cuales el vino refrigerado ha de reposar durante algún tiempo.

Si se pretende sólo la defecación de la materia colorante, bastará con una permanencia de 24 a 48 horas, tras las cuales se procede a la clarificación. Por el contrario, si lo que se quiere conseguir es una buena eliminación de las sales tártricas, la permanencia del vino en los depósitos debe ser mucho más prolongada. Los cinco o seis días normalmente recomendados no son suficientes y es preciso ampliarlos a diez ó quince. El filtrado final se efectúa a la temperatura mínima.

Se está orientando después de algunos años hacia otra forma de utilización del frío, que autoriza la conservación en cubas metálicas el almacenamiento prolongado en locales mantenidos a una temperatura cercana a 0°C. Los vinos jóvenes, con preferencia filtrados previamente, son así conservados durante uno o dos meses a baja temperatura. Se les refiltra a la salida de la cámara fría.

El frío de ambiente hace partir de técnicas recientes de dominio de las temperaturas de conservación, cada etapa de la evolución del vino debe situarse a un cierto nivel de temperatura. Se puede imaginar un caso de conservación dispuesta en diversas salas a temperaturas constantes: a 18 °C para los acabados de vinos jóvenes, especialmente para la terminación de la fermentación maloláctica, a 0 °C o por debajo para realizar el frío de ambiente; en fin a 10 °C – 12 °C por ejemplo para la conservación de los vinos tintos.

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO

CAPITULO III:

CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO

3.1 Descripción de la organización demandante del equipo

La empresa para la cual se centra el diseño del equipo es el **Complejo Licorero Ponche Crema**, la cual es una de las más importantes industrias nacionales de licores.

Esta organización es producto de la adquisición que realizó una de las empresas licoreras de mas arraigo y antigüedad en el país como fue C.A. Ponche Crema, la cual constituyó en Octubre de 2000 el Complejo Industrial Licorero del Centro C.A, tras adquirir a la empresa United Distillers and Vintners, quien antiguamente fue Industrias Pampero. Producto de esta negociación C.A. Ponche Crema obtuvo importantes marcas entre las que se destacan el tradicional vino de cocina Sagrada Familia, los rones Estelar y Ocumare, los licores de whisky Country Club y Gold Member, el vino La Española y el espumante Alexander, siendo este último el producto en cuya línea de producción se prevé incorporar el equipo en estudio.

En el 2005, la integración de las empresas C.A Ponche Crema y Complejo Industrial Licorero del Centro C.A. vine a conformar lo que actualmente se conoce como **Complejo Licorero Ponche Crema**.

Como ya se indicó el equipo a diseñar va estar acoplado a la línea de producción del vino espumante Alexander, la cual opera en la Planta Complejo Industrial Licorero del Centro ubicada en la población de Ocumare del Tuy en estado Miranda.

3.2 PROCESO DE ELABORACION DEL VINO ALEXANDER ESPUMOSO

El vino Alexander Espumoso es elaborado a partir de un mosto importado siguiendo el Método Charmat o de Carbonatación, a continuación se muestra un esquema del proceso de producción:

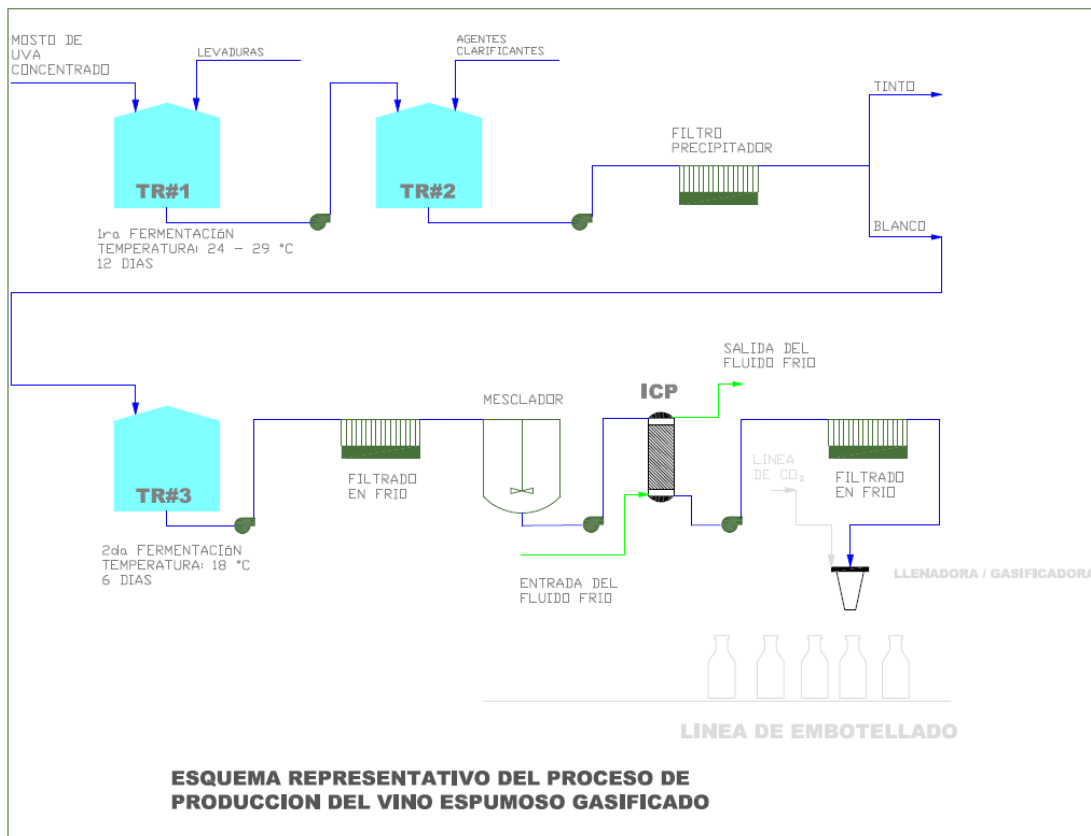


Fig. 20. Proceso de Producción del **VINO ESPUMOSO ALEXANDER**

3.3 Característica del VINO ESPUMOSO ALEXANDER fabricado por Complejo Licorero Ponche Crema

El espumante Alexander es un vino espumoso tipo Demi sec el cual el consumidor adquiere fundamentalmente para brindis, celebraciones y eventos. Con una graduación alcohólica de 12 °Gl. El producto se comercializa en presentaciones de 0,75 lts. en cajas con 12 unidades.



Fig. 21. Presentación del vino espumoso Alexander

De acuerdo al análisis físico/químico aportado por la empresa el producto tiene las siguientes propiedades:

Densidad (20 °C)	995 Kg./m ³
Viscosidad	0.01 Kg/m*s
Conductividad térmica	0.554 W/m*°K
Calor específico	4500 Joul/Kg*°K
Extracto seco Ackermann o pesada	83.18 g/l
Azucares reductores expresados en dextrosa	58.17 g/l
Sacarosa	menor que 1 g/l
Acides total expresada en H ₂ SO ₄	3.72 g/l
Acides volátil expresada en C ₂ H ₄ O ₂	0.33 g/l
Acides fija expresada en H ₂ SO ₄	3.45 g/l
Acides total expresada en C ₄ H ₆ O ₆	5.7 g/l
pH	3.29
Sulfatos expresados en K ₂ SO ₄	0.83 g/l
Cloruros expresados en NaCl	0.21 g/l
Anhídrido sulfuroso libre H ₂ SO ₃	0.032 g/l
Anhídrido sulfuroso total H ₂ SO ₃	0.221 g/l
Acido sórbico C ₆ H ₈ O ₆	0.135 g/l
Hierro	2.8 mg/l

CAPITULO IV

CÁLCULOS DEL EQUIPO

CAPÍTULO IV: CÁLCULOS DEL EQUIPO

4.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR MÁS ADECUADO PARA LA EMPRESA

Debido a la importancia y antigüedad de la industria vinícola, ha habido un desarrollo tecnológico asociado a la misma, y al mismo tiempo esta se ha beneficiado utilizando los mejores equipos y tecnologías disponibles, procurando siempre maximizar la producción manteniendo bajo control el gasto asociado, cuidando siempre el mantener las mejores prácticas sanitarias sobre todo por tratarse de productos para el consumo humano.

Tomando en cuenta lo antes señalado se seleccionó un intercambiador de calor de placas para realizar el proceso, debido a que tiene una serie de características que le permiten adaptarse a las necesidades de la empresa. Entre estas tenemos la posibilidad de aumentar el caudal de trabajo y el área de intercambio de calor con el aumento del número de placas, previo cálculo, adaptando el equipo a futuras necesidades de aumentos en la producción.

El intercambiador de calor de placas es de fácil montaje y desmontaje en comparación con otros equipos, tales como los intercambiadores de concha y tubo o los intercambiadores compactos, facilitando de esta forma su mantenimiento, lo cual, por ser este equipo para la industria de alimentos es muy importante debido a que facilita cumplir con las normas sanitarias referentes a la higiene del equipo, adicionalmente las placas son hechas de acero inoxidable, el único metal según la normativa sanitaria que puede estar en contacto directo con alimentos, con espesores reducidos, alrededor de 0.5 mm, el cual significa un ahorro en el costo del equipo.

Por ser equipos de tamaño compacto en relación con otros intercambiadores ocupan espacios reducidos y son más económicos en cuanto a instalación. Tienen un diseño que maximiza la posibilidad de recuperación de calor por consiguiente un ahorro de energía, que es traducido en un ahorro de dinero

4.2 Método de cálculo del intercambiador de placas

El cálculo de este tipo de intercambiadores se realizó con base en el modelo HTF (Heat Transfer Fluids) de Chester-Jensen (Buonopane, 1963), se deben conocer algunas características físicas de las placas de transferencia, así como las temperaturas y flujos de las corrientes de entrada y de salida del fluido frío y caliente, y sus propiedades físicas.

Las suposiciones que se consideraron al momento de realizar los cálculos fueron las siguientes:

- El intercambio de calor está aislado de sus alrededores, en cuyo caso el único intercambio de calor es entre los fluidos frío y caliente.
- Los perfiles de temperaturas varían solo en la dirección del flujo.
- Los cambios de energía cinética y potencial en los fluidos son despreciables.
- Dentro del intercambiador de calor los fluidos se encuentran en fase líquida. No se presentan espacios con aire en el equipo.
- El coeficiente global de transferencia de calor es constante a través del intercambiador.

Algunas de estas suposiciones no son del todo cierta, pero podemos considerar los resultados como una aproximación bastante confiable para nuestro diseño.

A continuación se detallan los pasos para el cálculo del intercambiador, considerando que para este tipo de proceso los pasos 1 al 9 son los mismos para los flujos en serie y de lazo.

- 1 Determinar las propiedades físicas de cada fluido (viscosidad, conductividad térmica, y calor específico), y la temperatura promedio aritmética de los fluidos de entrada y salida.
- 2 Calcular el calor transferido a partir de los datos del fluido caliente y el fluido frío, a partir de la ecuación:

$$Q = \dot{m}_1 * C_{p_1} * \Delta T_1 = \dot{m}_2 * C_{p_2} * \Delta T_2$$

\dot{m} : Flujo másico (Kg/s).

C_p : Calor específico a presión constante (Joul/m*s).

ΔT : Variación de temperatura (°K).

3. Calcular la temperatura media logarítmica a partir de la ecuación:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

T_1, T_2 : Fluido caliente (K)

t_1, t_2 : Fluido frío (K)

1: entrada

2: salida

4. Calcular el diámetro equivalente (d_e)

$$d_e = 2 * b_p$$

b_p : Ancho del canal (m)

5. Calcular el área de flujo (a_f)

$$a_f = b_p * b_g$$

b_g : ancho de las gomas (m)

6. Obtener la velocidad másica (G_m) para el fluido frío y para el fluido caliente.

$$G_m = \frac{\dot{m}}{a_f}$$

7. Suponer un intercambiador con una sola placa (un paso cada flujo) y calcular el Numero de Reynolds para cada corriente.

$$Re = \frac{de \left(\frac{Gm}{np} \right)}{\mu}$$

np : numero de corrientes (adimensional)

Nota: para flujos en serie $np=1$, en todos los casos para flujos en lazo el valor de np dependerá de las características de las placas.

8. Calcular el número de Prandtl para ambos fluidos

$$Pr = \frac{(Cp * \mu)}{k}$$

9. Calcular el coeficiente individual para la corriente fría h_f y para la corriente caliente h_c (según el Numero de Reynolds)

$$h = 0.2536 * \left(\frac{k}{de} \right) * Re^{0.65} * Pr^{0.4}$$

10. Calcular el coeficiente global limpio (U_c).

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h_f} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_c}$$

e : Espesor de la placa (m).

h_f : Coeficiente individual para la corriente fría (W/m^2*K).

h_c : Coeficiente individual para la corriente caliente (W/m^2*K).

k : Conductividad térmica ($W/m*K$).

11. Obtener el coeficiente global de transferencia de calor (U_D).

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + Rd_i + Rd_o$$

Rd_i : Factor de ensuciamiento fluido caliente ($m^2 \cdot K/W$).

Rd_o : Factor de ensuciamiento fluido frío ($m^2 \cdot K/W$).

Los pasos del 11 al 13 involucran iteraciones diferentes para cada configuración.

Para flujo en serie:

12. Suponer que el factor de corrección de la temperatura para intercambiadores de placas es $F_p=1$, y calcular el área de transferencia de calor.

$$A = \frac{Q}{U_D * F_p * \Delta T_{ml}}$$

13 Calcular el número de placas (N)

$$N = \frac{A}{A_p}$$

A_p : Área de transferencia de calor de la placa (m).

1. Calcular el factor de corrección con el numero de placas obtenido, a partir de los gráficos "Factor de corrección para el diseño de intercambiadores de calor con arreglo de flujo en serie" Manual del Ingeniero Químico Perry y Don (1997), si la diferencia entre los factores de corrección no es menor a una tolerancia fijada se repiten los pasos 12 y 13 reemplazando el factor

de corrección supuesto por el calculado hasta que la diferencia este dentro del margen de error.

Para flujos tipo lazo:

12. Suponer un factor de corrección de 0.95 para casos generales y calcular el área de transferencia de calor a partir de la ecuación:

$$A = \frac{Q}{U_D * Fp * \Delta T_{ml}}$$

13. Calcular el número de placas a partir de la ecuación:

$$N = \frac{A}{A_p}$$

14. Si N es un número impar de placas el numero de corrientes np , dentro del cual se divide el fluido, será el mismo para los fluidos frío y caliente. Si N es un número par, el número de corrientes, dentro del cual dentro del cual cada fluido se divide, será diferente y un fluido tendrá una división más de flujo que el otro (p.e. Si $N=4$ entonces $nf=3$ y $nc=2$ ó $nf=2$ y $nc=3$, donde nf se refiere al número de corrientes de fluido frío y nc al número de corrientes de fluido caliente). Se compara el np determinado con el np usado en el paso 7, si no son iguales se repiten los pasos 7 al 12 reemplazando np supuesto con el determinado luego de haber concluido las iteraciones hasta que los valores concuerden, se debe usar valores de $Fp=0.942$ para N impares y $Fp=0.967$ para N pares.

15. Caída de presión.

Se obtiene el factor de fricción para cada corriente

$$f = 2.5 \left(\frac{G^* de}{\mu} \right)^{-0.3}$$

Se calcula la caída de presión en ambas corrientes, para seleccionar la bomba sanitaria adecuada.

$$\Delta P = \frac{2 * f * Gm^2 * Lf}{\rho * de}$$

Lf: Velocidad del área de flujo.

Gm: Velocidad másica.

4.3 Cálculo para determinar el número de placas del intercambiador de calor

Parámetros de cálculo:

Siguiendo el método de Chester-Jensen.

Paso 1:

Determinar las propiedades termo físicas.

Vino espumoso (fluido caliente)	Símbolo	Unidades	valor
Viscosidad	μ	Kg/m*s	0,001
Densidad	ρ	kg/m ³	995
Conductividad térmica	k	W/m*K	0,554
Calor específico	Cp	Joul/kg*K	4500
Temperatura de entrada	Te	K	301,75
Temperatura de salida	Ts	K	277,15
Agua (fluido frío)	Símbolo	Unidades	valor
Viscosidad	μ	Kg/m*s	0,00121
Conductividad térmica	k	W/m*K	0,594
Calor específico	Cp	Joul/kg*K	4217
Temperatura de entrada	Te	K	276,15
Temperatura de salida	Ts	K	289,209555
Caudal	m	L/h	12000

Paso 2:

Se calcula el calor transferido a partir de los datos del fluido caliente y el fluido frío utilizando la ecuación.

$$Q = 16583 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 4500 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} * \text{K}} * 24.6 \text{K}$$

$$Q = 183573.81 \text{W}$$

Paso 3

Se Calcula la temperatura media logarítmica a partir de la ecuación.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(301.75 - 289.2095)\text{K} - (277.15 - 276.15)\text{K}}{\text{Ln}\left(\frac{(301.75 - 289.2095)\text{K}}{(277.15 - 276.15)\text{K}}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 4.5633 \text{K}$$

Paso 4

Se calcula el diámetro equivalente (de)

$$de = 2 * 0.0025 \text{m}$$

$$de = 0.005 \text{m}$$

Paso 5

Se calcula el área de flujo (af)

$$af = 0.0025 \text{m} * 0.425 \text{m}$$

$$af = 0.0010625 \text{ m}^2$$

Paso 6

Se calcula la velocidad másica (Gm) para el fluido frío y para el fluido caliente.

Fluido Caliente

$$Gmc = \frac{1.6583 \frac{Kg}{s}}{0.0010625 m^2}$$

$$Gmc = 1560.7529 \frac{Kg}{s * m^2}$$

Fluido frío

$$Gmf = \frac{3.3333 \frac{Kg}{s}}{0.0010625 m^2}$$

$$Gmf = 3137.2549 \frac{Kg}{s * m^2}$$

Paso 7

Se calcula el número de Reynolds para ambos fluidos con la ecuación

Fluido caliente

$$Re_c = \frac{0.005 \text{ m} \left(\frac{3137.2549 \frac{Kg}{s * m^2}}{1} \right)}{0.001 \frac{Kg}{s * m}}$$

$$Re_c = 7803.76$$

Fluido frío

$$Re_f = \frac{0.005 \text{ m} \left(\frac{3137 \cdot 2549}{1} \frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right)}{0.00121 \frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}}}$$

$$Re_f = 12963.86$$

Paso 8

Se calcula el número de Prandtl para ambos fluidos

Fluido caliente

$$Pr_c = \frac{(4500 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} * 0.001 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})}{0.554 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}$$

$$\boxed{Pr_c = 8.1227}$$

Fluido frío

$$Pr_f = \frac{(4217 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} * 0.00121 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})}{0.594 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}$$

$$\boxed{Pr_f = 8.5902}$$

Paso 9

Se calcula el coeficiente individual para la corriente fría h_f y para la corriente caliente h_c

Fluido caliente

$$h_c = 0.2536 * \left(\frac{0.554 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0.005 \text{ m}} \right) * 7803.76^{0.65} * 8.1227^{0.4}$$

$$\boxed{h_c = 22007.3534 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}$$

Fluido frío

$$h_f = 0.2536 * \left(\frac{0.594 \frac{W}{m^{*o} K}}{0.005m} \right) * 12963.8632^{0.65} * 8.5902^{0.4}$$

$$h_f = 33561.7105 \frac{W}{m^2 * o K}$$

Paso 10

Se calcula el coeficiente global limpio (U_c).

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{33561.7105 \frac{W}{m^2 * o K}} + \frac{0.0005m}{15.2 \frac{W}{m^{*o} K}} + \frac{1}{22007.3534 \frac{W}{m^2 * o K}}$$

$$U_c = 9248.1312 \frac{W}{m^2 * o K}$$

Paso 11

Se calcula el coeficiente global de transferencia de calor (U_D).

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{9248.1312 \frac{W}{m^2 * o K}} + 0.002 + 0.0002$$

$$U_D = 433.2512 \frac{W}{m^2 * o K}$$

Luego de determinado el Coeficiente Global de Transferencia de Calor se seleccionó un arreglo de placas con flujo en serie para efectos del cálculo por alcanzar este una transferencia de calor más efectiva entre los fluidos.

Para flujo en serie.

Se supone que el factor de corrección de la temperatura para intercambiadores de placas es $F_p=1$, y se calcula el área de transferencia de calor.

$$A = \frac{183573.81W}{433.2512 \frac{W}{m^2 * K} * 1 * 4.5633K}$$

$$A = 92.8518m^2$$

Se calcula el número de placas (N)

$$N = \frac{92.8518m^2}{0.8287m^2}$$

$$N = 112.038 \cong 113$$

Calculando el factor de corrección con el número de placas obtenido, a partir de los gráficos “Factor de corrección para el diseño de intercambiadores de calor con arreglo de flujo en serie” Manual del Ingeniero Químico Perry y Don (1997), se determinó que el valor de este es 0.85, e iterando en función del mismo se obtiene:

$$A = \frac{183573.81W}{433.2512 \frac{W}{m^2 * K} * 0.85 * 4.5633K}$$

$$A = 109.2373m^2$$

Se calcula el número de placas (N)

$$N = \frac{109.2373m^2}{0.8287m^2}$$

$$N = 131.8098 \cong 132$$

Como N es un número par, el número de corrientes, dentro del cual cada fluido se divide, será diferente y un fluido tendrá una división más de flujo que el otro, $np_c=66$ y $np_c=67$. Se compara el np determinado con el np usado en el paso 7, si no son iguales se repiten los pasos 7 al 12 reemplazando np supuesto con el determinado luego de haber concluido las iteraciones hasta que los valores concuerden. Entonces, al realizar estas iteraciones se obtiene que el número total de placas para realizar el intercambio de calor deseado es:

NUMERO TOTAL DE PLACAS 219

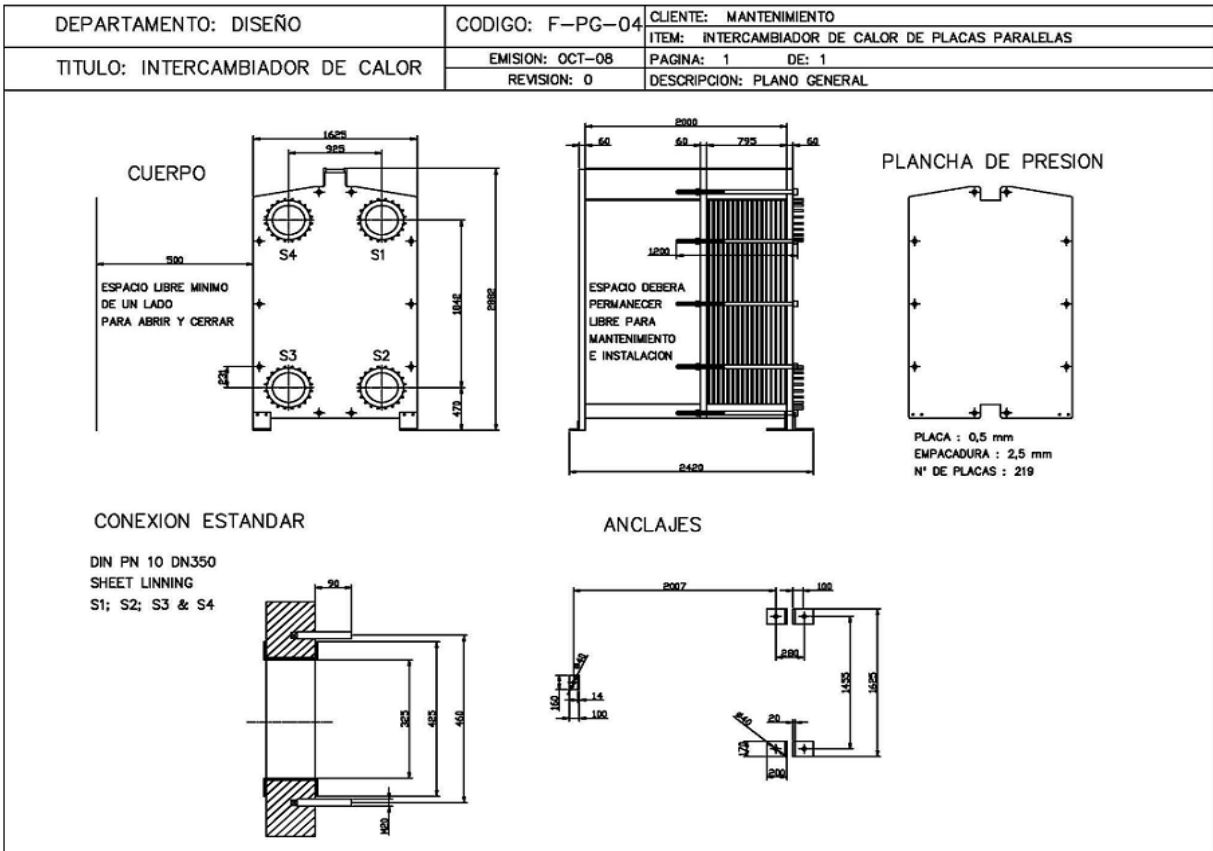
Las juntas serán de neopreno, material recomendado para bajas temperaturas y operaciones con fluidos para consumo humano.

La tubería de tubería de alimentación ser de 1 ½ pulgadas

4.4 Reporte de resultados

INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS			
REPORTE DE RESULTADO			
Método de calculo utilizado:	Método de Chester & Jensen		
Fluido Caliente:	Vino Alexander Espumoso		
Fluido Frío:	Agua		
VARIABLES	SÍMBOLO	UNIDADES	VALOR
Fluido Caliente			
Temperatura de Entrada:	T_1	°K	301,75
Temperatura de Salida:	T_2	°K	277,15
Flujo Másico:	m_c	Kg/s	1,66
Velocidad Másica:	G_{m_c}	Kg/m ² *s	1.560,75
Fluido Frío			
Temperatura de Entrada:	T_1	°K	276,15
Temperatura de Salida:	T_2	°K	289,21
Flujo Másico:	m_c	Kg/s	3,33
Velocidad Másica:	G_{m_c}	Kg/m ² * s	3.137,25
COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR			
Coeficiente Individual Fluido Caliente:	h_c	W/m ² * s	1.042,90
Coeficiente Individual Fluido Frío:	h_f	W/m ² * s	1.590,44
Coeficiente Global Limpio:	U_c	W/m ² * s	617,09
Coeficiente Global de Transferencia de Calor:	U_D	W/m ² * s	261,74
ÁREA Y NUMERO DE PLACAS			
Área de Transferencia de Calor:	A	m ²	0,83
Numero de Placas:	# Placas	Adimensional	219
CARACTERÍSTICA DE LA PLACA SELECCIONADA			
Ancho:	Ancho	mm	500
Alto:	Alto	mm	1700
Espesor:	e	mm	0,50
BALANCE DE ENERGÍA			
Calor transferido:	Q	W	183.573,81

4.5 Diagrama del equipo



4.6 Manual de operación y mantenimiento

Este Manual de Operación y Mantenimiento constituye una guía básica permanente para las diferentes situaciones con las que se pueden encontrar al utilizar este intercambiador de calor de placas. Estúdielo detalladamente, y garantice su disponibilidad a las personas que instalan, mantienen y manejan este equipo cada día. Este manual no tendrá utilidad alguna si no está al alcance de la mano del personal que lo necesite.

Este manual ha sido elaborado utilizando como referencia el Manual de Instrucciones para un Intercambiador de Calor de Placas facilitado por Alfa Laval, adjunto en los anexos, procurando facilitar la rápida comprensión y utilización por parte de operadores y técnicos.

4.6.1 Información general

El equipo de refrigeración para realizar el enfriamiento previo al embotellado del Vino Alexander Espumoso consta de un intercambiador de calor de placas (ICP) como su componente principal, válvulas de entrada y salida de los fluidos, vino y agua, y las bombas sanitarias de cada uno de ellos, opcionalmente se le deben colocar medidores de presión y temperatura para un mayor control del proceso.

Como fue indicado anteriormente el intercambiador de calor de placas consta de una serie de placas corrugadas muy delgadas separadas por unas juntas, que forman el canal de circulación de los fluidos, colocadas sobre un marco bastidor formado a su vez por un cabezal fijo, un cabezal móvil, unidos entre sí por unos pasadores con tuercas, una barra de soporte inferior y una barra de soporte superior.

4.6.2 Operación del Intercambiador de Calor de Placas

El funcionamiento del ICP es bastante sencillo como ya fue descrito la transferencia de calor cuando los fluidos, frío y caliente, circulan en corrientes paralelas y en contraflujo a través de canales contiguos del intercambiador.

Para poner el ICP en funcionamiento debemos verificar que el equipo este correctamente conectado al sistema y que el arreglo de placas tenga las dimensiones correctas, es decir, que los pasadores de apriete tengan el torque de operación el cual es 450 Nm, luego procedemos a realizar la puesta en servicio según lo descrito en este manual.

4.6.3 Mantenimiento general

Para realizar el mantenimiento del equipo se deben seguir una serie de pasos, sencillos pero que deben ser realizados con mucho cuidado para no causarle daños al equipo, especialmente a las placas y juntas.

Los pasos para realizar el **Montaje y desmontaje del Intercambiador de Calor de Placas**, para realizar las labores de limpieza, son los siguientes:

- Apague las bombas de alimentación de los fluidos frío y caliente.
- Cierre las válvulas de entrada y salida de los fluidos frío y caliente así como las válvulas de alimentación de las bombas.
- Afloje las tuercas de los pasadores. El cabezal móvil puede ser corrido completamente hacia atrás dejando de esta manera expuesta el arreglo de placas.
- En caso de ser necesario, las placas deben ser removidas una a una.

- Enumere las placas antes de sacarlas de la barra para montarlas en el mismo orden al finalizar el mantenimiento.
- Alce e incline las placas, una por una, sacándolas del bastidor.
- El desensamblado del arreglo de placas debe ser realizado con mucha precaución, cuidando que las placas no se golpeen ya que se doblan con mucha facilidad, causándole daños irreparables.
- Limpie cuidadosamente el equipo.
- Compruebe antes del reensamblaje, que todas las placas y juntas estén libres de partículas sólidas.
- Coloque, una a una, las placas en el bastidor, cuidando que sean colocadas en el mismo orden en el que se encontraban.
- Realice una inspección final al arreglo de placas, si todo está en orden, cierre y ajuste el equipo.

4.6.4 Advertencia

Las placas pueden tener bordes muy afilados. Se deben utilizar guantes de cuero durante el desarme y reensamblado para prevenir cualquier accidente.

4.6.5 Procedimiento de ajuste del Intercambiador de Calor

- Presione el cabezal móvil para compactar el arreglo de placas con el cabezal fijo.
- Coloque los pasadores con las tuercas en su posición.
- Apriete los pasadores, empezando por los centrales alternando luego en forma cruzada, aplicando un torque de 150 N x m.
- Repita el procedimiento anterior con un torque de 300 N x m.

- Realice nuevamente el procedimiento anterior con el torque de funcionamiento del ICP el cual es de 450 N x m.

4.6.6 Advertencia

El torque aplicado a los pasadores debe ser el correcto, de no ser así podrían ocurrir fugas o mal funcionamiento en el equipo.

4.6.7 Puesta en servicio

- Realice una inspección visual del arreglo de placas, pasadores y tuercas.
- Verifique que el chiller de refrigeración del agua helada este encendido.
- Abra las válvulas de entrada y salida de los fluidos.
- Abra las válvulas de alimentación de las bombas.
- Encienda las bombas del fluido frío y proceda a realizar una purga de aire del sistema.
- Una vez que el agua helada haya alcanzado su temperatura de operación, encienda la bomba del fluido caliente.

4.6.8 Puesta fuera de servicio

- Apague el chiller de refrigeración del agua helada.
- Apague las bombas.
- Cierre las válvulas de alimentación de las bombas.
- Cierre las válvulas de entrada y salida de los fluidos al ICP.

4.6.9 Limpieza Mayor del ICP (con el equipo armado)

Debido al alto factor de ensuciamiento del vino, por sus propiedades organolépticas, el equipo debe ser limpiado periódicamente; en caso de una limpieza menor (con el equipo armado):

- Drene ambos fluidos del ICP
- Ponga el equipo en funcionamiento utilizando agua caliente como fluido de operación. Mantenga el equipo funcionando hasta que el agua se aclare. El caudal debe ser 1.5 veces el caudal de operación.
- Puede utilizar también un agente limpiador suave, asegurándose de eliminarlo completamente antes de poner el equipo nuevamente en funcionamiento.

4.6.10 Limpieza mayor (con el equipo desarmado)

- Abra el ICP de acuerdo a las instrucciones de desensamblado.
- Separe las placas unas de las otras. Si es posible deje las placas en el marco bastidor. Recuerde enumerar las placas en caso de necesitar desmontarlas.
- Utilice agua a alta presión, preferiblemente caliente, para lavar las placas cuidando de no separar las juntas.
- Si el ensuciamiento es muy intenso utilice un cepillo suave y un agente limpiador no corrosivo.
- Las placas deben enjuagarse con agua después de utilizar un agente limpiador.
- Reensamble el ICP de acuerdo a las instrucciones.

4.6.11 Mantenimiento Rutinario (Interdiario)

Para realizar el mantenimiento interdiario del ICP se deben seguir los siguientes pasos:

- Lubrique los pasadores y tuercas del Intercambiador de Calor de Placas (ICP), para que al momento de desmontar el equipo no presente inconvenientes.
- Lubrique la barra de soporte superior e inferior del ICP, para permitir el libre deslizamiento de las placas.
- Verifique que el torque de las tuercas de los pasadores sea el correcto, los cambios de temperatura y presión causan desajustes en los mismos.
- Verifique que el equipo no tenga fugas ni presente vibraciones o ruidos.

4.6.12 Mantenimiento Semanal

Para realizar el mantenimiento semanal del ICP hacemos una intervención intermedia del equipo, siguiendo todos los pasos realizados en las labores de Mantenimiento Rutinario (Interdiario) sumado a los descritos para realizar una Limpieza Mayor con el ICP armado.

- Drene ambos fluidos del ICP
- Ponga el equipo en funcionamiento utilizando agua caliente como fluido de operación. Mantenga el equipo funcionando hasta que el agua se aclare. El caudal debe ser 1.5 veces el caudal de operación.
- Puede utilizar también un agente limpiador suave, asegurándose de eliminarlo completamente antes de poner el equipo nuevamente en funcionamiento.

- Lubrique los pasadores y tuercas del Intercambiador de Calor de Placas (ICP), para que al momento de desmontar el equipo no presente inconvenientes.
- Lubrique la barra de soporte superior e inferior del ICP, para permitir el libre deslizamiento de las placas.
- Verifique que el torque de las tuercas de los pasadores sea el correcto, los cambios de temperatura y presión causan desajustes en los mismos.
- Verifique que el equipo no tenga fugas ni presente vibraciones o ruidos.

4.6.13 Mantenimiento Mensual

Para realizar el mantenimiento mensual del ICP hacemos una intervención profunda del equipo, siguiendo todos los pasos realizados en las labores de Mantenimiento Rutinario (Interdiario) sumado a los descritos para realizar una Limpieza Mayor con el ICP desarmado.

- Abra el ICP de acuerdo a las instrucciones de desensamblado.
- Separe las placas unas de las otras. Si es posible deje las placas en el marco bastidor. Recuerde enumerar las placas en caso de necesitar desmontarlas.
- Realice una inspección visual de las placas y juntas, reemplazando las que presenten fallas.
- Utilice agua a alta presión, preferiblemente caliente, para lavar las placas cuidando de no separar las juntas.
- Si el ensuciamiento es muy intenso utilice un cepillo suave y un agente limpiador no corrosivo.
- Las placas deben enjuagarse con agua después de utilizar un agente limpiador.
- Reensamble el ICP de acuerdo a las instrucciones.

- Lubrique los pasadores y tuercas del ICP.
- Lubrique la barra de soporte superior e inferior del ICP.
- Verifique que el torque de las tuercas de los pasadores sea el correcto.
- Verifique que el equipo no tenga fugas ni presente vibraciones o ruidos.

4.6.14 Mantenimiento Semestral

Para realizar el mantenimiento semestral del ICP hacemos una intervención profunda del equipo y todos los sistemas asociados a este, siguiendo todos los pasos realizados en las labores de Mantenimiento Rutinario (Interdiario) sumado a los descritos para realizar una Limpieza Mayor con el ICP desarmado y una revisión y recalibración, en caso de ser necesaria, de los equipos y sistemas acoplados al ICP, incluyendo tuberías.

- Abra el ICP de acuerdo a las instrucciones de desensamblado.
- Separe las placas unas de las otras. Si es posible deje las placas en el marco bastidor. Recuerde enumerar las placas en caso de necesitar desmontarlas.
- Realice una inspección visual de las placas y juntas, reemplazando las que presenten fallas.
- Utilice agua a alta presión, preferiblemente caliente, para lavar las placas cuidando de no separar las juntas.
- Si el ensuciamiento es muy intenso utilice un cepillo suave y un agente limpiador no corrosivo.
- Las placas deben enjuagarse con agua después de utilizar un agente limpiador.
- Reensamble el ICP de acuerdo a las instrucciones.
- Lubrique los pasadores y tuercas del ICP.
- Lubrique la barra de soporte superior e inferior del ICP.

- Verifique que el torque de las tuercas de los pasadores sea el correcto.
- Verifique que el equipo no tenga fugas ni presente vibraciones o ruidos.
- Verifique la calibración de todos los sistemas asociados al equipo (medidores de temperatura o presión) y recalibre, en caso de ser necesario.
- Revise todas las tuberías del equipo en busca de fugas, daños o incrustaciones.

4.6.15 Advertencia

No debe haber en la habitación absolutamente ningún aparato productor de ozono, tal como motores eléctricos o equipo de soldadura con arco, ya que el ozono destruye (agrieta) la mayoría de los cauchos. No guarde en la misma habitación disolventes orgánicos o ácidos. Evite las radiaciones de calor o ultravioletas.

4.7 Síntesis y Conclusiones

- El producto a ser procesado por el equipo diseñado es un vino espumoso Demi SEC, que tiene como propiedades físico químicas mas relevantes: Graduación alcohólica de 12 °Gl, Densidad (20 °C) de 995 Kg./m³, Viscosidad de 0.01 Kg/m*s, Conductividad térmica 0.554 W/m*°K, Calor específico de 4500 Joul/Kg*°K y un pH de 3.29.
- El vino Alexander Espumoso es elaborado a partir de un mosto importado siguiendo el Método Charmat o de Carbonatación, proceso que se caracteriza por realizar la segunda fermentación en tanques refrigerados y necesitar un enfriamiento del producto, hasta 4 °C, previo al embotellado para facilitar la solubilización del CO₂ exogeno agregado.
- Se realizó el diseño un Intercambiador de Calor de Placas Paralelas para realizar el enfriamiento, previo al embotellado, del producto debido a que: este tipo de equipo tiene la capacidad de manejar las cargas térmicas presentes en el proceso de manera eficiente, es fácilmente ajustable a la línea de producción por su tamaño compacto, permitiendo realizar un aumento de su caudal de operación de manera sencilla (en caso de aumento de la producción), tiene un diseño higiénico, de fácil lavado, ideal para este tipo de industrias que depende de estrictas normas sanitarias.
- La nueva línea de producción tendrá una capacidad de procesamiento de 6.000 litros por hora, en su fase inicial, de ser necesario el caudal de operación del Intercambiador de Placas Paralelas podría aumentar adicionando más placas al equipo.

- Se elaboró un Manual de Operación y Mantenimiento ajustado a las necesidades de la empresa y al personal que realiza estas labores dentro de la empresa, se simplifico lo más posible, tratando de hacer énfasis en los puntos más importantes.
- El consumo de vinos en Venezuela ha venido creciendo sostenidamente desde hace tres años debido al auge gastronómico que se ha gestado en el país, ubicándose para el año 2007 en 12 millones de litros. La demanda del vino espumante Alexander ha tenido un importante incremento, por lo que la empresa fabricante se ha visto en la necesidad de aumentar su capacidad de producción.

4.8 Recomendaciones

- Se recomienda al Complejo Licorero Ponche Crema dictar un taller de adiestramiento para el uso y mantenimiento del ICP a su personal, especialmente con el equipo técnico de mantenimiento.
- Se recomienda el uso de Citricidal, jabón industrial de origen orgánico, para realizar las labores de lavado del ICP.
- Aunque la empresa aseguro que tenía las bombas sanitarias que estarían acopladas al ICP, se recomienda hacer una validación de las mismas con los datos aportados por este trabajo.
- Para un mejor control del proceso y registro del mismo, se recomienda el uso de medidores de presión, temperatura, válvulas de purga y drenaje y reloj de registro.

4.9 Referencias Bibliográficas

- **Bianco, H., Medina, A. (2001).** Reseña histórica del vino en Venezuela, su control de calidad. Revista de la facultad de farmacia (Vol.42), pag 32-33.
- **Buonopane, R.A., Troupe, R.A. y Morgan, J.C (1963).** Heat transfer desing for plate heat exchangers. Chemical engineering progress. Revista del Instituto Americano de Ingeniería Química (Vol. 59, No 7) pag 57-61.
- **COVENIN 3342:97 (1997).** Vinos y sus derivados. Requisitos. Caracas: Fondonorma.
- **Daban, M (2005).** Los espumosos del mundo: factor variedad y fermentación. ACE Revista de Enología. Disponible: <http://www.acenologia.com/dossier71.htm>. (consultado el 15/06/08).
- **El catavino (2008).** Clarificación del Vino. Disponible: <http://www.elcatavinos.com/cromellesbiblioteca.asp?id=41> (consultado el 20/07/08).
- **Frío y Calor (2007).** Disponible: <http://www.fríoycalor.cl> (consultado el 17/07/08).
- **Funke (2007).** Brazed Plate Heat. Disponible: http://pdf.directindustry.es/pdf/funke/heat-exchangers-common-brochure-22540-22075.html#pdf_22075. (consultado el 10/04/08).

- **Hayes, G. D. (1983).** Manual para Ingeniería de los alimentos. Zaragoza: Acribia.
- **Incropera, F. y De Witt, D. (1999).** Fundamentos de transferencia de calor. (4ta Edición). New York: Mc Graw Hill.
- **Krones, (2008).** Carbonatación de alta precisión. Disponible: <http://www.krones.de/es/industries/1790.htm>. (consultado el 17/06/08).
- **Méndez, E. (2006).** El vino gana terreno. Revista Producto, (77).Disponible: <http://www.producto.com.ve/277/notas/informe4.html>. (consultado el 20/06/08).
- **Mundo alimentario (2005).** Métodos de producción de vinos espumosos. Disponible: http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MA008_VINES.pdf, (consultado el 20/06/08).
- **Onofre (2003).** Conoce el vino. <http://www.onofre.net/historia.htm#Clasificación>. (consultado el 23/06/08).
- **Organización Internacional de la Viña y el Vino (2008).** NOTA DE COYUNTURA MUNDIAL MARZO 2008. Disponible: <http://www.oiv.int/es/accueil/index.php> (consultado el 20/06/08).
- **Perry, G. y Don, W. (1997).** Chemical Engineers' Handbook, (Seventh Edition), New York: Mc Graw Hill.

- **Rodríguez, A. (2002).** Ley cero de la termodinámica. Instituto Tecnológico Superior de Calkini (ITESCAM), Campeche.
- **Vinos y Bodegas (2008).** La filtración del vino, <http://vinosbodegas.com/> (consultado el 22/07/08).

4.10 Anexos