

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **DISEÑO Y ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONOMICA DE UN SISTEMA PASTEURIZADOR DE JUGOS CÍTRICOS DE BAJO CAUDAL.**

Presentado Ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Cuadros P., César E.  
Salazar L. Joxsan Y.  
para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

**Caracas, 2003**

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO Y ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONOMICA DE UN SISTEMA PASTEURIZADOR DE JUGOS CÍTRICOS DE BAJO CAUDAL.**

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Alberto Fuentes.

Presentado Ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Cuadros P., César E.  
Salazar L. Joxsan Y.  
para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

**Caracas, 2003**

- Cuadros P., César E.
- Salazar L., Joxsan Y., 2003

Caracas, Mayo de 2003

Los abajo firmantes, miembros del Jurado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres: Cuadros P., César E. y Salazar L. Joxsan Y., titulado:

**“DISEÑO Y ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONOMICA DE UN SISTEMA PASTEURIZADOR DE JUGOS CÍTRICOS DE BAJO CAUDAL”.**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

---

Prof. Luis Caballero  
Jurado

---

Prof. Gilberto Barbone  
Jurado

---

Tutor Prof. Alberto Fuentes.

**Cuadros P., César E.**

**Salazar L., Joxsan Y.**

**“DISEÑO Y ESTUDIO DE RENTABILIDAD ECONOMICA DE UN SISTEMA PASTEURIZADOR DE JUGOS CÍTRICOS DE BAJO CAUDAL”.**

**Tutor Académico: Prof. Ing. Alberto Fuentes..**

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

**Escuela de Ingeniería Mecánica. 2003. 110 pág.**

Palabras Claves: Intercambiadores de calor, Automatización, Pasteurización.

En el presente trabajo se elabora un diseño de un sistema pasteurizador de jugos para bajos caudales. El diseño es comparado económicamente con los equipos comercializados en el país. El caudal que se maneja para el proyecto es de 1000 lts/hr, Los sistemas de pasteurización que se comercializan en el país, operan con capacidades de pasteurización entre 5000 y 30000 lts/hr.

El sistema de pasteurización se construye con materiales existentes en el mercado Venezolano, bajo las normas Sanitarias Nacionales y las normas Covenin. Estas estipulan que el proceso de pasteurización debe ser continuo, bajo el sistema alta temperatura corto tiempo (HTST, por sus siglas en ingles). El componente principal del equipo pasteurizador es el intercambiador de calor. En la investigación resulto ser el mas adecuado el del tipo de placas paralelas.

Debido al bajo caudal manejado el diseño es poco practico. El costo de inversión es menor, pero, si se compara con la producción resulta un costo elevado. Sin embargo, para los requerimientos exigidos, el sistema es el más adecuado, debido a que es un sistema flexible que permite aumentar la producción a un menor costo agregado.

## **DEDICATORIA**

*A mi familia, en especial a mis padres y a mi hermana por todo el apoyo que me han brindado en el logro de esta meta tan ansiada.*

**César.**

A mis padres sin cuyo esfuerzo nada de esto hubiese sido posible, y a quienes me han brindado apoyo en los momentos mas difíciles.

**Joxsan.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Todopoderoso.

Al personal técnico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, por su valiosa colaboración en la investigación.

Al Prof. Luis caballero, por su tiempo y aporte de conocimientos.

Al Prof. Alberto Fuentes por su tutoría.

Al Prof. Raúl Martínez del Instituto de Tecnología de Alimentos de la UCV.

Al Lic. Alejandro Molina, por su valiosa colaboración en la investigación de este trabajo especial de grado.

Al Ing. Tarsicio Álvarez, gerente de ventas de la empresa Giropak C.A. Internacional, por la información suministrada.

A nuestra grandiosa Universidad Central de Venezuela por formarnos como profesionales y seres integrales.

A nuestros amigos por el apoyo incondicional en todo momento. En especial a ti por haber colaborado activamente en la elaboración final de este trabajo.

.....gracias a todos.

## INDICE GENERAL

Índice de figuras	<i>i</i>
Índice de Tablas	<i>ii</i>
Introducción	<i>iii</i>
Objetivos del T.E.G	<i>iv</i>
Marco Teórico	
1. <u>Conservación de los alimentos</u>	1
1.1 Reseña Histórica	1
1.2 Conservación de los alimentos por altas temperaturas	2
1.3 Efecto letal del calor	2
1.4 Factores que afectan la presencia de Microorganismos en los alimentos	3
1.5 Zumos de frutas, mostos y néctares	5
1.5.1 Alteraciones bacterianas de los zumos	5
1.5.2 Alteraciones por levaduras	7
1.5.3 Alteraciones por mohos	7
1.6 Tratamiento térmico de los zumos	8
2. <u>Pasteurización</u>	10
2.1 Elección de las condiciones de pasteurización	11
2.2 Equipos empleados en la pasteurización de líquidos sin envases	12
3. <u>Transferencia de calor.</u>	14
3.1 Mecanismos de transferencia de calor	14
3.1.1 Transferencia de calor por conducción	14
3.1.2 Transferencia de calor por convección	15
3.1.3 Transferencia de calor por radiación	16
3.2 Conservación de la energía para un volumen de control	17



3.3 Capa limite de velocidad ó hidrodinámica	17
3.4 Capa limite térmica	17
3.5 Flujo laminar y turbulento	18
3.6 Parámetros adimensionales que se relacionan con las condiciones de la capa limite	18
3.7 Intercambiadores de calor	19
3.7.1 Tipos de intercambiadores de calor	20
3.7.1.1 Intercambiadores con tubos	21
3.7.1.2 Intercambiadores de superficies planas	22
3.7.1.3 Intercambiadores compactos	25
3.8 Diferencia media logarítmica de temperatura	26
3.9 Calculo de la superficie de un intercambiador	27
<u>4. Medición automática, concepto de control y sistemas</u>	29
4.1 Características básicas comunes de los sistemas automáticos de medición y control	29
4.2 Características básicas de los dispositivos de control	29
4.2.1 Precisión	30
4.2.2 Velocidad de respuesta	30
4.3 Características básicas del control de los procesos	31
4.4 Características básicas del control automático	31
4.4.1 Control de dos posiciones	32
4.4.2 Control por flotación	32
4.4.3 Control proporcional	32
4.4.4 Control proporcional con restauración	32
4.4.5 Acción de Velocidad	32
4.5 Principio de un sistema automático	33
4.5.1 Fases de estudio en la elaboración de un sistema de control	33
4.6 Opciones Tecnológicas	36
4.7 Autómatas programables	36

4.7.1 Campo de aplicación	37
4.7.2 Ventajas del P.L.C	38
4.7.2.1 Ventajas del P.L.C	38
4.7.2.2 Inconvenientes del P.L.C	39
5. <u>Estudio de los diferentes procesos de pasteurización al jugo</u>	42
5.1 Pasteurización con llenado antes del tratamiento térmico	43
5.1.1 Operación discontinua, sin agitación	43
5.1.2 Operación continua	43
5.1.2.1 Con agitación	43
5.1.2.2 Sin agitación	43
5.2 Pasteurización con llenado después del tratamiento térmico	43
5.2.1 Operación continua	43
5.2.2 Operación continua	44
5.2.2.1 Sin agitación	44
5.2.2.2 Con agitación	44
5.3 Selección del proceso de pasteurización de jugos mas adecuados para la empresa	45
5.4 Selección del tipo de intercambiador de calor para el proceso de pasteurización	46
6. <u>Método de calculo de un intercambiador de placas</u>	46
7. <u>Método de calculo para el tubo retenedor</u>	52
8. <u>Cálculo del intercambiador de placas</u>	55
8.1 Cálculo para determinar el número de placas en la zona de calentamiento	61
8.2 Cálculo del tubo retenedor	67
8.3 Cálculo del flujo masico de agua para el tubo retenedor	68

8.4 Cálculo de la tubería externa del tubo retenedor	69
8.5 Cálculo de la bomba sanitaria	70
9- Sistema de control	75
10. Rentabilidad económica para la construcción del sistema pasteurizador	79
11. Manual de operación y mantenimiento	83
12 .Conclusiones	94
13 .Recomendaciones	96
14 .Bibliografía	98
15. Anexos	100

## INDICE DE FIGURAS

2. Equipo Pasteurizador	13
3. Intercambiador de calor de placas	25
3.1.a Flujo en contracorriente	26
3.1.b Flujo en corriente paralela	26
3.1.c Flujo con cambio de fase	27
4.1 Bucle o lazo de un sistema automático	33
4.2 Organigrama general para el estudio y elaboración de un sistema de control	35
8. Esquema del sistema pasteurizador	73
9. Organigrama del sistema de control del pasteurizador	77
11.1 Diagrama del intercambiador de calor	84
11.2 Dirección de flujo	85
11.3 Juntas	86
11.4 Ubicación de las juntas	86

## INDICE DE TABLAS

1. Clasificación del los alimentos según su pH	4
3.1 Temperatura de operación de las juntas	24
4.1 Opciones tecnológicas generales	36
8.1 Datos del jugo proveniente del tanque	55
8.2 Datos del jugo proveniente del retenedor	55
8.3 Propiedades termofísicas del jugo	56
8.4 Datos del jugo a la entrada de la zona de calentamiento	61
8.5 Datos del fluido caliente	61
8.6 Propiedades termofísicas del agua	61
8.7 Datos de los fluidos para calcular del flujo masico de agua	68
8.8 Tabla de resultados	72
10. Lista de precios	80

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el avance y desarrollo de tecnologías se ha volcado al estudio de soluciones que de una u otra manera son empleadas en satisfacer nuevas demandas y necesidades de la industria.

La producción de bienes de consumo masivo, generalmente se ha desarrollado, mediante el concepto de la gran industria, basados en la utilización de tecnologías de alto nivel, que demandan elevada inversiones de capital para su instalación, así como de grandes cadenas de distribución debido a la localización de las plantas, generando profundas repercusiones en la estructura de precios.

Considerando la necesidad de desarrollar un sistema pasteurizador de jugos cítricos (naranja y mandarina), de bajo caudal, debido a que los sistemas comercializados en el mercado nacional son de gran capacidad (caudales mayores de 5000 lt/hr), nace la idea del desarrollo de un sistema pasteurizador de jugos con caudales ajustables que van desde los 1000 lt/hr hasta los 2000 lt/hr.

El diseño de este dispositivo se realiza con materiales y equipos existentes en el mercado venezolano. El proyecto gira en torno a su elemento principal que es el intercambiador de calor.

Se evalúa la factibilidad de la implementación del sistema comparándolo con los existentes y de esta manera determinar la rentabilidad según su producción y costo.

## **OBJETIVOS DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Cálculo, diseño, y estudio de rentabilidad económica de un sistema pasteurizador para jugos cítricos, de bajos caudales con materiales y equipos existentes en el mercado venezolano, sustentada bajo las normas relacionadas con el diseño del equipo.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar las propiedades físicas del fluido para las condiciones de operación.
- Estudiar los diferentes tipos de procesos de pasteurización de jugos.
- Seleccionar el proceso de pasteurización de jugos.
- Seleccionar el proceso de pasteurización más adecuado para los requerimientos de la empresa.
- Seleccionar el proceso de intercambio de calor adecuado, para el proceso seleccionado.
- Seleccionar el tipo de intercambiador de calor para el proceso seleccionado.
- Calcular y diseñar el intercambiador de calor, para el proceso seleccionado.
- Seleccionar los componentes del sistema de control.
- Seleccionar el tanque de balance para el proceso de pasteurización
- Calcular y seleccionar la bomba sanitaria de alimentación.
- Estudiar la rentabilidad económica para la construcción del sistema de pasteurización en comparación con equipos ya existentes.
- Elaborar los manuales de operaciones y mantenimiento.

## ***MARCO TEÓRICO***

---



## **1. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS**

La conservación de alimentos ha sido, desde siglos atrás, una de las mayores preocupaciones del hombre, debido a diferentes factores, entre estos se destaca la necesidad de mantener inalterados alimentos que se recolectan en alguna época del año para su posterior consumo o la necesidad de transportar alimentos de un lugar a otro. A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes métodos para lograr este objetivo tal como la conservación por agentes químicos, bajas temperaturas, deshidratación, altas temperaturas, etc.

### **1.1 RESEÑA HISTORIA**

La palabra conservar deriva de la latina *conservare*, que significa mantener intacto o inalterado, por ello se aplica al procedimiento que permite que los alimentos sean resistentes al deterioro. Aunque existen estudios realizados anteriormente, la conservación de los alimentos por el calor la realizó por primera vez Nicolás Appert (1750-1841) en 1809, francés a quien Napoleón otorgó un premio de 12.000 francos por haber logrado un método de conservación de alimentos envasados en vidrio bajo la acción del calor. Appert, que no era un científico, probablemente ignoraba el alcance del descubrimiento en el que había trabajado ya que para esta fecha aun no se tenía conocimiento del papel desempeñado por los microorganismos en la descomposición de los alimentos. De una forma empírica se habían sentado las bases de lo que después sería la industria conservera.

La explicación científica del poder conservador del calor la dio más tarde el investigador francés Louis Pasteur (1822-1895), al reconocer el papel alterante de los microorganismos y la posibilidad de su destrucción por el calor.

## 1.2. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS POR ALTAS TEMPERATURAS

El empleo de altas temperaturas en la conservación de los alimentos se basa en sus efectos destructivos sobre los microorganismos. Por alta temperatura se entiende cualquiera superior a la ambiental. Comúnmente se emplean dos procesos con altas temperaturas: pasteurización y esterilización. La pasteurización implica la destrucción por calor de todos los microorganismos productores de enfermedades y la reducción del número de microorganismos productores de alteraciones en los alimentos. Cuando se habla de pasteurización se utilizan temperaturas inferiores a 100 °C. La esterilización significa la destrucción de todos los organismos viables que puedan ser contados por una técnica de recuento o por la realización de cultivos adecuados . En la esterilización se utilizan temperaturas mayores de 100 °C.

## 1.3. EFECTO LETAL DEL CALOR

Al subir la temperatura por encima de la temperatura máxima de crecimiento, se dejan sentir los efectos sobre la viabilidad: la pérdida de viabilidad significa que las bacterias dejan de ser capaces de crecer y dividirse, aun cuando se transfieran a un medio idóneo. La muerte por calor es una función diferencial de primer orden:

$$\frac{dn}{dt} = -Kt \times N$$

La acción del calor supone la muerte de una fracción constante (Kt) de la población sobreviviente en cada momento.

La cinética de primer orden sugiere que no existen efectos acumulativos, sino que la muerte se debe a la destrucción o inactivación irreversible de una molécula o una estructura esencial.

Parámetros utilizados para la inactivación por calor de una suspensión bacteriana:

- Tiempo térmico mortal: es el tiempo mínimo requerido para que mueran todos los microorganismos de una determinada suspensión a una determinada temperatura.
- Tiempo de reducción decimal: es el tiempo requerido para reducir al 10% la densidad de microorganismos, a una determinada temperatura.
- Punto térmico mortal: es la temperatura mínima que mata a todos los microorganismos en un tiempo determinado.

La inactivación (total o parcial) por calor se debe principalmente a la desnaturalización de proteínas y a la fusión de lípidos de membrana, debido a que se rompen muchos enlaces débiles, sobre todo los puentes de hidrogeno entre grupos C=O y H<sub>2</sub>-N.

#### **1.4. FACTORES QUE AFECTAN LA PRESENCIA DE MICROORGANISMOS EN LOS ALIMENTOS.**

1. EFECTO DEL AGUA. La resistencia al calor de las células microbianas aumenta en proporción a la disminución de la humedad.
2. EFECTO DE LAS GRASAS. En presencia de grasas hay aumento de la resistencia térmica de ciertos microorganismos.
3. EFECTO DE LAS SALES. El efecto de las sales sobre la resistencia térmica de los microorganismos es variable y depende del tipo de sal, concentración empleada y otros factores. Se ha observado que algunas sales tienen un efecto protector, mientras que otras sensibilizan los microorganismos frente al calor.

4. EFECTO DE LOS CARBOHIDRATOS. La presencia de azúcares en el medio determina un incremento de la resistencia térmica de los microorganismos suspendidos en él.
5. EFECTO DEL pH. A medida que descienden los valores del pH aumenta el poder microbicida del calor.

**Tabla 1. Clasificación de los alimentos según su pH.**

<b>Grupo</b>	<b>Alimentos</b>	<b>pH</b>
Débilmente ácidos	Carne y productos cárnicos; pescados; diferentes especies de verduras, guisantes judías, espinacas, espárragos y preparados listos para su consumo	> 4,5
Ácidos	Principalmente frutas, como peras, tomates, manzanas y ciruelas	4,0 – 4,5
Muy ácidos	Encurtidos, numerosas clases de frutas	< 4,0

6. EFECTO DE LAS PROTEINAS. Las proteínas protegen a los microorganismos del calor.
7. EFECTO DEL NÚMERO DE MICROORGANISMOS. A mayor número de microorganismos, mayor grado de resistencia térmica.
8. EFECTO DE LA EDAD DE LOS MICROORGANISMOS. Los microorganismos tienden a ser más resistentes al calor en la fase estacionaria de crecimiento (células viejas), y menos durante la fase logarítmica (células jóvenes).
9. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CRECIMIENTO. La resistencia térmica de los microorganismos tiende a aumentar según se eleva la temperatura de incubación.
10. EFECTO DE LOS COMPUESTOS INHIBIDORES. Cuando los microorganismos se tratan térmicamente en presencia de inhibidores microbianos, como son los antibióticos resistentes al calor, SO<sub>2</sub>, etc., tiene lugar una disminución de la resistencia térmica.
11. EFECTO DEL TIEMPO Y TEMPERATURA. En general, a mayor tiempo de actuación del calor, más intenso es su efecto letal.

## **1.5. ZUMOS DE FRUTAS, MOSTOS Y NÉCTARES**

Los zumos de frutas son productos obtenidos por presión o extracción acuosa de las frutas maduras y ciertas especies de frutas silvestres; presentan aspecto turbio, caso de mosto, o límpido, si se filtraron para su consumo inmediato; mediante elaboración posterior se obtienen zumos concentrados, jarabes, bebidas de zumos de frutas, etc. Las frutas ácidas, por ejemplo grosellas y guindas, originan unos zumos "crudos ó naturales" que por su elevada acidez no sirven para el consumo inmediato, mediante la adición de azúcar y agua se obtienen los mostos azucarados de frutas. Desde hace varios años se preparan, cada vez en mayor cantidad, néctares o zumos de pulpa de aspecto turbio, debido a que forma parte de los mismos la pulpa de la fruta.

Los zumos de frutas y mostos son refrescantes, reguladores del apetito y calman la sed. Debido a su contenido en vitaminas, sales minerales, productos azucarados, ácidos orgánicos, sustancias aromáticas, etc... tienen gran interés en el fisiologismo nutritivo. Su contenido en sustancia seca varía del 5% al 20%, siendo el resto agua.

Dada su composición química, los zumos son un excelente medio nutritivo microbiano especialmente para levaduras y hongos.

### **1.5.1 ALTERACIONES BACTERIANAS DE LOS ZUMOS**

Las bacterias alterantes de zumos que originan ácido láctico, acético o butírico (bacterias ácido lácticas), merecen especial consideración. Aunque en los zumos se han señalado repetidamente otras especies bacterianas, rara vez se multiplican por lo que en la práctica no desempeñan un papel equivalente a las bacterias ácido lácticas.

Los zumos alterados por bacterias son generalmente turbios y ricos en ácido láctico, acético o butírico; a veces hay formación de gas. Las bacterias que originan ácido

acético crecen formando en la superficie un velo o película mucilaginoso que puede hundirse o formar un anillo en las paredes de la vasija.

Mención especial merecen las bacterias patógenas, se ha comprobado experimentalmente que las enterobacteriáceas pueden desarrollarse en zumos de muy escasa acidez, mientras que en los muy ácidos a temperaturas bajas permanecían viables mucho tiempo. En zumos de naranja de pH de 3,1 a 3,5 y a 5°C, las enterobacterias inoculadas experimentalmente permanecieron viables unos 35 días. Entre las bacterias alterantes más importantes de los zumos de frutas figuran las productoras de ácido láctico. Dado que se desarrollan en ausencia de aire (anaeróbicas), soportan bien concentraciones altas de CO<sub>2</sub> y sus especies psicrófilas crecen bien a temperaturas bajas, constituyendo un grave peligro en los zumos conservados en tanques refrigerados. Predominan los lactobacilos heterofermentativos que producen en los zumos, además de ácidos orgánicos, alcohol etílico y CO<sub>2</sub>. Ciertas especies ácido lácticas destruyen el ácido normal de los zumos, por ejemplo *Lactobacillus brevis* y *Lactobacillus plantarum* transforman el ácido málico (de las manzanas) en láctico y dióxido de carbono. Otras en los zumos de cítricos originan acetoína y diacetilo, por lo que se origina un sabor parecido al del ácido butírico. Las técnicas corrientes de pasteurización destruyen los lactobacilos. Generalmente no se multiplican en zumos cuyo pH es menor de 3,5. En zumo de naranja de doble concentración en fase alterativa se encuentran bacterias que producían ácido acético; dado que son microorganismos aerobios, sólo se multiplican bien cuando está asegurado un buen aporte de oxígeno. Por el contrario, las bacterias butíricas sólo se reproducen en ausencia total de oxígeno libre. Las bacterias esporuladas son muy termorresistentes, sin embargo la germinación de sus esporas se inhibe a valores de pH bajos.

### **1.5.2. ALTERACIONES POR LEVADURAS.**

Los zumos de frutas son los productos que mejor cubren las necesidades de las levaduras en lo que se refiere a pH, condiciones nutritivas y de oxígeno, por lo que son los microorganismos que más fácilmente crecen y se multiplican en estos alimentos. Las levaduras originan turbidez, sedimentos y velos y sus productos metabólicos, sobre todo alcohol etílico y CO<sub>2</sub> originados en la fermentación de los azúcares son también tan perjudiciales como la formación de velos y ácido acético. La industria elaboradora de zumos teme especialmente la presencia en éstos de *Saccharomyces*, *Hansenula* y *Pichia*. Pueden presentarse en las distintas fases de elaboración de zumos, aunque frecuentemente sean responsables de fermentaciones durante el almacenamiento y manipulación de aquéllos. En los almacenados en refrigeración todavía pueden desarrollarse algunas levaduras. Las levaduras osmófilas atacan a ciertos zumos concentrados. Las levaduras, incluidas las que forman ascosporas, son poco resistentes al calor, por lo que el tratamiento térmico corriente de los zumos es suficiente para controlarlas

### **1.5.3. ALTERACIONES POR MOHOS**

A diferencia de las bacterias y de la mayoría de las levaduras, los mohos crecen formando una masa enmarañada que se extiende rápidamente y puede llegar a cubrir en 2-3 días una superficie de varias pulgadas. Una gran parte de su masa, o su totalidad, se denomina micelio. Este esta compuesto de filamentos o ramificaciones llamadas hifas. En ocasiones la película formada se va al fondo. Los pigmentos originados por los mohos difunden en parte por el zumo y dan lugar a cambios de coloración que también se originan por destrucción microbiana de los pigmentos naturales de los zumos de fruta. Por otro lado destruyen los ácidos de la fruta como el cítrico y el ascórbico o sintetizan otros como el glucónico y el oxálico por lo que modifican el pH y el sabor del jugo.

Es frecuente que en la alteración de los zumos de fruta intervengan conjuntamente varios factores. Así podrían desarrollarse por ejemplo micelios resistentes a la pasterización que llegaron a las botellas como esporas y que al disponer de suficiente oxígeno, a consecuencias de cierres mal ajustados o por un espacio de cabeza excesivo, germinaron en el zumo. Las bacterias suelen aparecer en los zumos cuando por destrucción o descomposición de los ácidos naturales se aumenta el pH.

Para evitar pérdidas a causa de la actividad microbiana se recomienda un buen control microbiológico que se extiende desde la materia prima (frutas) hasta los productos terminados. De aquí la importancia de establecer pronto la causa de la alteración de los productos, tanto para asegurar su calidad, como para protegerlos frente a posible alteración.

## **1.6. TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ZUMOS**

El propósito principal del tratamiento térmico de los alimentos es eliminar los microorganismos patógenos. En el tratamiento térmico de zumos se busca también la inactivación de las enzimas que puedan causar un deterioro del producto.

En los tratamientos térmicos se incluyen tanto la pasteurización, con lo que se destruyen todos los microorganismos menos los termorresistentes, como la esterilización que, al utilizar temperaturas mayores, determina la destrucción de las ascosporas fúngicas más termorresistentes y de las bacterias esporuladas. Los zumos tratados térmicamente deben almacenarse en recipientes cerrados herméticamente para evitar su recontaminación con microorganismos alterantes.

La acción del tratamiento térmico de los zumos de fruta depende esencialmente del incremento de la temperatura y del tiempo de permanencia a dicha temperatura. En general el tiempo requerido es mayor si se utilizan temperaturas relativamente bajas;



a medida que éstas aumentan disminuye el tiempo de tratamiento necesario. En la práctica existen diversos sistemas de pasteurización, como los intercambiadores de placas o de tubos, en los que el paso rápido de una delgada capa de líquido permite un rápido intercambio térmico.

Ya que el bajo pH de los zumos favorece la destrucción microbiana por el calor, en general es suficiente un calentamiento a 70-80°C durante pocos minutos. En la pasteurización rápida, que emplea temperaturas más altas, el tiempo de calentamiento es más breve.

Los zumos tratados por el calor se conservan generalmente en recipientes de cristal o depósitos pequeños previamente esterilizados con vapor.

## **2. PASTEURIZACIÓN**

El término "pasteurización" se emplea en homenaje a Louis Pasteur, quien a mediados del siglo XIX realizó estudios referentes al efecto letal del calor sobre los microorganismos, y a su uso como sistema de conservación

La pasteurización es pues un tratamiento térmico de baja intensidad que tiene objetivos distintos de acuerdo con los alimentos a los que se aplique:

- Para los alimentos poco ácidos, cuyo ejemplo más importante es la leche líquida, el objetivo principal es la destrucción de la flora patógena y la reducción de la flora banal, para conseguir un producto de corta conservación, pero de condiciones organolépticas muy próximas a las de la lechecruda, evitando los riesgos para la salud de este último producto.
- Para los alimentos ácidos, cuyo ejemplo más importante son los zumos de frutas, conseguir una estabilización del producto que respete sus cualidades organolépticas, ya que no son necesarias las temperaturas mayores porque en medios ácidos no es posible el crecimiento de bacterias esporuladas.

En los alimentos ácidos, solo encontramos microorganismos muy sensibles al calor, que pueden ser destruidos, como ya se ha dicho, por un tratamiento térmico ligero. En estos alimentos se desarrollan bacterias no esporuladas, muy sensibles al calor, levaduras y mohos, estos últimos tampoco soportan los medios anaerobios. Por lo tanto la estabilidad buscada puede encontrarse con un tratamiento de pasteurización, que además conseguirá la inactivación de enzimas, evitándose así las reacciones de pardeamiento y otras reacciones enzimáticas de deterioro del producto.

## **2.1. ELECCIÓN DE LAS CONDICIONES DE PASTEURIZACIÓN**

Generalmente el factor limitante de los tratamientos de pasteurización es su actuación sobre las características organolépticas y nutricionales de los alimentos tratados. La elección de la temperatura y del tiempo de tratamiento vendrá condicionada por la preservación de la composición inicial del alimento: impedir la desnaturalización de las proteínas de la leche y la destrucción de las vitaminas de los zumos de frutas, evitando en todos los casos la aparición de los gustos a cocido que deteriorarían irreversiblemente los productos.

Generalmente se puede elegir entre dos grandes sistemas de pasteurización:

- **Baja temperatura durante un tiempo largo** (LTLT: low temperature-long time): Consiste en mantener el producto a una temperatura relativamente baja por un periodo de tiempo prolongado.
- **Alta temperatura durante un tiempo corto** (HTST: high temperature-short time): Consiste en llevar el producto a una temperatura alta por un periodo de tiempo corto, que en el caso de la leche consistiría en un calentamiento a 72-75°C durante 15-20 segundos y en el de los zumos llegaría hasta 77-92°C durante 15-60 segundos. En este segundo caso las propiedades de los productos se ven muy poco afectadas, aunque las temperaturas sean más altas, por el corto tiempo de mantenimiento.

El sistema de pasteurización elegido condicionará el equipamiento necesario para aplicarlo. El sistema LTLT se puede plantear, en procesos por cargas o continuos, para productos líquidos (que se calienten por convección) a granel (en marmitas) o envasados; también puede emplearse para productos sólidos que se calienten por conducción (productos cárnicos).

El sistema HTST solo tiene sentido para productos líquidos en procesos continuos, empleando equipos de intercambio térmico de suficiente eficiencia para que la homogeneidad del tratamiento sea la conveniente pese a que el tiempo sea tan corto. La única forma de aplicar una determinada temperatura durante 15-20 segundos es consiguiendo un calentamiento y un enfriamiento instantáneos de toda la masa de producto que se está tratando.

## **2.2. EQUIPOS EMPLEADOS EN LA PASTEURIZACIÓN DE LIQUIDOS SIN ENVASAR**

En referencia únicamente a los equipos empleados en la pasteurización HTST, que son los adecuados para el tratamiento en continuo. La instalación completa de pasteurización constará de una primera zona de calentamiento, una segunda zona de mantenimiento de la temperatura , una tercera de enfriamiento y de bombas, sistemas de medida y de control y demás accesorios necesarios para conseguir un proceso preciso y eficiente. Las zonas en las que se realiza el intercambio térmico serán cambiadores de calor del tipo más adecuado para que el producto en cuestión reciba un tratamiento correcto y para que se minimice el consumo energético. El calor necesario para el proceso vendrá suministrado por agua caliente, ya que a las temperaturas de trabajo tan reducidas no será necesario, ni conveniente, el uso directo de vapor de agua. El enfriamiento final se realizará también contra agua, esta vez fría o helada, dependiendo de la temperatura a la que se desea que quede el producto al concluir el proceso. El producto pasteurizado será llevado a continuación, en las condiciones de asepsia adecuadas, al equipo de llenado de los envases en que se vaya a comercializar.



**Equipo pasteurizador**

**Figura 2**

### **3. TRANSFERENCIA DE CALOR**

La transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas. Se ha descrito a la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre cuerpos a distintas temperaturas.

Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor.

#### **3.1 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

Existen tres mecanismos diferentes en los cuales puede transferirse calor de un sistema a otro, aun cuando muchas de las aplicaciones de ingeniería son combinaciones de dos o tres de estos mecanismos, los cuales son; conducción, convección y radiación

##### **3.1.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.**

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 entre las mismas. A la mención de la palabra conducción debemos evocar de inmediato conceptos de actividad atómica y 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 mas alta, a otra adyacente, con energía molecular mas 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:

$$q_x'' (W / m^2) = -k \times \frac{dT}{dx}$$

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 propiedad de transporte conocida como conductividad térmica ( $W/m^2K$ ) y es una característica del material por el cual se está transmitiendo el calor.

### 3.1.2. 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.

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

$$q'' (W / m^2) = h(T_s - T_\infty)$$

Donde  $q''$ , el flujo de calor por convección ( $W/m^2$ ), es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido,  $T_s$  y  $T_\infty$ , respectivamente. La constante de proporcionalidad  $h$ , ( $W/m^2K$ ), 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.

### 3.1.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. 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 radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío.

Transferencia de energía por ondas electromagnéticas, Ley de Stefan-Boltzmann:

$$q'' \left( \frac{W}{m^2} \right) = \varepsilon \times \sigma (T_s^4 - T_{ALR}^4)$$

Esta expresión proporciona la diferencia entre la energía térmica que se libera debido a la emisión por radiación y la que se gana debido a la absorción de radiación, es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y de los alrededores,  $T_s$  y  $T_{ALR}$ , respectivamente. Donde  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ) y  $\varepsilon$  es una propiedad de la superficie llamada emisividad.



### 3.2. CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA PARA UN VOLUMEN DE CONTROL

La cantidad de energía térmica y mecánica que ingresa en un volumen de control, mas la cantidad de energía térmica que se genera dentro del volumen de control, menos la cantidad de energía térmica y mecánica que sale del volumen de control debe ser igual al incremento en la cantidad de energía almacenada en el volumen de control.

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

### 3.3. CAPA LIMITE 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 capa 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  $\tau$  que actúan en planos que son paralelos a la velocidad del fluido. La cantidad  $\delta$  se denomina espesor de la capa limite.

### 3.4. CAPA LIMITE TÉRMICA

Así como se produce una capa limite hidrodinámica cuando hay un paso de fluido sobre una superficie, también se produce una capa limite 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 las de la capa adyacente

del fluido, y se producen en el fluido gradientes de temperatura. La región del fluido donde se produce este gradiente de energía es la capa límite térmica.

### 3.5. 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 en 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.

### 3.6. PARAMETROS ADIMENSIONALES QUE SE RELACIONAN CON LAS CONDICIONES DE LA CAPA LÍMITE

#### NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds representa la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas en la capa límite hidrodinámica

$$\text{Re}_L \equiv V \times \frac{L}{\nu}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde  $V$  es la velocidad a contracorriente de la superficie,  $\nu$  es la difusividad del momento, donde  $\mu$  representa una propiedad del fluido que se conoce como viscosidad dinámica y  $\rho$  representa la densidad del fluido.

## 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 limite hidrodinámicas y térmicas, respectivamente.

$$\text{Pr} \equiv \frac{\nu}{\alpha}$$

Donde  $\nu = \mu/\rho$ , y  $\alpha$  es la difusividad térmica.

## 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.

$$\text{Nu} = \frac{h \times L}{K_f}$$

El número de Nusselt es para la capa limite térmica lo que el coeficiente de fricción es para la capa limite de velocidad. En este  $h$  representa el coeficiente de convección local,  $L$  es la longitud y  $K_f$  es al conductividad térmica del fluido.

### 3.7. INTERCAMBIADORES DE CALOR

El proceso de intercambio de calor entre dos fluidos que están a diferentes temperaturas y separados entre si, ocurre en muchas aplicaciones de ingeniería. El dispositivo que se utiliza para llevar a cabo este intercambio se denomina intercambiador de calor. El intercambiador de calor es uno de los equipos industriales mas utilizados. Prácticamente no existe industria en la que no se encuentre un

intercambiador de calor, debido a que la operación de enfriamiento o calentamiento es inherente a todo proceso que maneje energía en cualquiera de sus formas.

### **3.7.1. TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR**

Los intercambiadores de calor normalmente se clasifican de acuerdo con la disposición de las corrientes y al diseño del equipo.

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

- 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
- Contra flujo o contracorriente: los fluidos entran por extremos opuestos, fluyen en direcciones opuestas y salen por extremos opuestos.
- Flujo cruzado o corrientes cruzadas: en este arreglo los fluidos forman un ángulo generalmente recto al cruzarse.

De acuerdo al diseño del equipo podemos decir que existe mucha variedad de intercambiadores de calor. En ciertas ramas de la industria se han desarrollado intercambiadores muy especializados para ciertas aplicaciones puntuales. Tratar todos 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:

- **INTERCAMBIADORES CON TUBOS**
  1. Serpentes sumergidos
  2. De doble tubo
  3. De coraza y haz de tubos
  4. Enfriadores de cascada (trombones)

- INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIES PLANAS
  1. intercambiadores de placa
  
- INTERCAMBIADORES COMPACTOS

### **3.7.1.1. INTERCAMBIADORES CON TUBOS**

Los intercambiadores mas habituales son los que usan tubos. Estos comprenden a los serpentines, intercambiadores de doble tubo y los intercambiadores de tubo y coraza. Vamos a describir brevemente cada uno de ellos.

1. Serpentines sumergidos. Un intercambiador de serpentín es un simple tubo que se dobla generalmente en forma helicoidal y se sumerge en un liquido. 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 domestica.
2. De doble tubo. El intercambiador de doble tubo es el tipo mas 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.
3. 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 asociadas a caudales mucho mayores de los que puede manejar un intercambiador de doble tubo.
4. 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.

### **3.7.1.2. INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIES PLANAS**

#### **INTERCAMBIADORES DE PLACA.**

Un intercambiador de placas paralelas consta de un paquete de placas de metal especialmente corrugadas y provistas de orificio de paso para los fluidos. El paquete se comprime mediante un marco o bastidor consistente de una placa fija y otra móvil, con tornillos de apriete que formaran 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 mas de un paso también tendrá conexiones en la placa móvil. La utilización del intercambiador de placas, entre otras, ofrece las siguientes ventajas:

- Menores costos de mantenimiento: menor tiempo para realizar mantenimiento mayor, no se requiere 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 instalación y maniobras
- Bajo volumen de retención: 80 a 90% menor volumen de retención fácil de drenar, importantes ahorros cuando se utilizan fluidos costosos.

- Aproximaciones de temperaturas mas cercanas: hasta  $1^{\circ}\text{C}$  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.

Como ya se ha explicado anteriormente, los intercambiadores de placa 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. Por eso tienen su mayor aplicación en las industrias farmacéutica y alimentaria. Otro atractivo importante es que, a diferencia de cualquier otro equipo de intercambio de calor, los intercambiadores 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 intercambiador permite operar con líquidos muy viscosos.

Entre sus principales limitaciones podemos citar su rango limitado de presiones y temperaturas operativas y el hecho de que exigen un armado y desarmado meticuloso (poniendo especial cuidado en no dañar las juntas) ya que son equipos delicados contruidos con chapas delgadas, de espesores tan finos como 0,5 mm, que se tuercen y quiebran fácilmente, lo que hace imprescindible un cuidado extremo en su manipulación.

Las placas se fabrican por estampado en frío usando materiales sumamente resistentes a la corrosión como acero inoxidable, 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 ofrecen al flujo. La función de estas es además mecánica, por que actúan como separadores, manteniendo constante el espacio entre placas.

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 estas industrias.

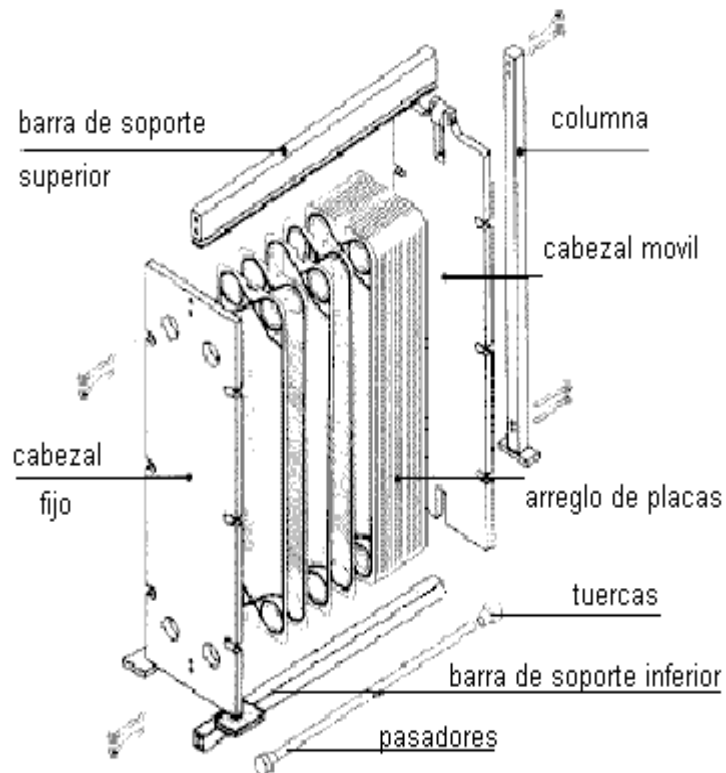
La selección del tipo de placa depende mucho del servicio que va a cumplir el equipo intercambiador de calor. Se debe tener en cuenta que los tipos de placas que producen el mayor valor de coeficiente de transferencia de calor, también ofrecen mayor resistencia al flujo.

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. 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 que puede soportar el material de la junta, cuyos valores se dan en el cuadro siguiente.

**Tabla N°3.1 Temperatura de operación de las juntas**

<b>Material de la junta</b>	<b>Temperatura máxima [°C]</b>
Caucho, estireno	70
Caucho, nitrilo, viton	100
Caucho butilo, neopreno	120
Silicona	140





**Intercambiador de calor de placas**

**Figura 3**

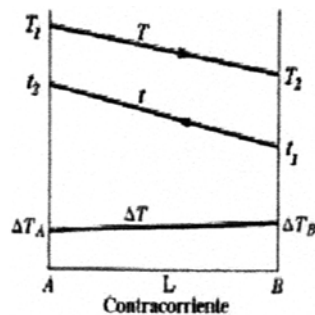
### **3.7.1.3. INTERCAMBIADORES COMPACTOS**

Los intercambiadores compactos han sido desarrollados para servicios muy específicos y no son habituales. Existen muchos diseños distintos, para los que no hay ninguna metodología general. Cada fabricante tiene sus diseños y métodos de cálculo propios. Para imaginar un intercambiador compacto supongamos tener una corriente de gas a elevada temperatura ( $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) que se desea intercambie calor con aire a temperatura normal. El espacio es sumamente escaso, por lo que se compra un intercambiador construido horadando orificios en un cubo de grafito. Los

orificios (tubos en realidad, practicados en la masa de grafito) corren entre dos caras opuestas.

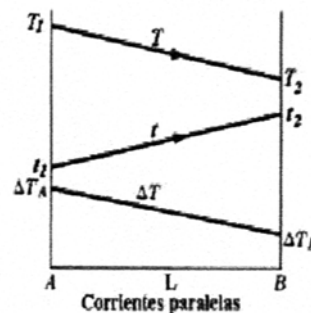
### 3.8. DIFERENCIA MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURA

Cuando se grafica 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  $T_2$ . Esta situación es la que describe el intercambio de calor sin cambio de fase de ninguna de las dos corrientes. La figura 1.a ilustra este caso, en cambio la figura 1.b representa la disposición de corrientes paralelas.



Flujo en contracorriente

Fig 3.1.a



Flujo en paralelo

Fig 3.1.b

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 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



flujo con cambio de fase

Figura 3.1.c

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

### 3.4. 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 cual ha de ser el intercambiador, es decir de qué tipo y tamaño.

El primer paso necesario 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 diferentes, algunos bastante engorrosos. La causa de este problema es la siguiente.

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

contribuciones 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 del intercambiador.*

$\Delta t$  = *Diferencia de temperatura "efectiva".*

Esta ecuación es engañosamente simple, porque no toma en cuenta las diferentes geometrías de los distintos equipos, que tienen una influencia enorme en la magnitud del intercambio 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 (es decir, condensación o ebullición). Sin embargo, estas diferencias influyen en el cálculo del coeficiente total  $U$  y de la diferencia de temperatura  $\Delta t$ .

#### **4. MEDICIÓN AUTOMÁTICA, CONCEPTOS DE CONTROL Y SISTEMAS**

Los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en nuestra vida diaria, desde los simples controles que hacen funcionar un tostador automático hasta los complicados sistemas de control necesarios en las exploraciones espaciales. Por esta razón, casi todos los ingenieros tienen contacto con los sistemas de control, aun cuando únicamente los usen, sin profundizar en la teoría. Los sistemas de control automático son sistemas dinámicos y un conocimiento de la teoría del control proporcionará una base para entender el comportamiento de tales sistemas.

La medición y el control automáticos pueden ser parciales, totales o de alguna extensión intermedia. El control comprende siempre un valor preestablecido o predeterminado llamado punto fijo o de ajuste. El sistema se diseña para medir y controlar económicamente cualquier desviación de variable dentro del alcance y rango de los controles, de manera que se mantenga el valor predeterminado dentro de los límites escogidos con el objeto de producir un artículo de calidad.

##### **4.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS COMUNES DE LOS SISTEMA AUTOMÁTICOS DE MEDICIÓN Y CONTROL**

Para comprender los sistemas automáticos de control y medición existen ciertos conceptos básicos que son comunes a la mayoría de los sistemas automáticos de medición y control.

##### **4.2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL**

Un dispositivo de medición debe captar algún parámetro físico utilizado en un proceso, por ejemplo la presión, temperatura, nivel, flujo, resistencia, voltaje, potencia o el movimiento. También debe ser capaz de detectar con fidelidad y precisión cualquier

cambio que ocurra en el parámetro detectado. Para fines de control, el movimiento del instrumento de medición genera una señal de advertencia que indica la necesidad de efectuar un cambio manual, o bien activa un dispositivo de control propiamente dicho. Se deben tomar en cuenta tanto la precisión como la rapidez en la respuesta.

#### **4.2.1. PRECISIÓN**

La precisión de una medida afecta el error estático, el dinámico, la reproducibilidad y la zona muerta.

Error estático: se define como la desviación de la indicación o registro del dispositivo de medición en relación con el valor verdadero de la variable medida.

Error dinámico: es aquel que se origina dentro del instrumento cuando mide un cambio de las condiciones de la variable.

La reproducibilidad: significa que el valor medido se puede repetir en forma casi idéntica cada vez que se mide el valor de la variable.

Zona muerta: es el momento donde la variable puede cambiar sin que el sensor detecte dicho cambio.

#### **4.2.2. VELOCIDAD DE RESPUESTA**

La respuesta instantánea y completa a un cambio en una variable es una situación ideal que no se ha logrado en ningún sistema físico. Aunque la respuesta puede iniciarse inmediatamente, se requiere cierto tiempo para su efecto en el sistema.

En sentido general, el tiempo necesario para que una respuesta tenga su efecto en el sistema se denomina retardo o demora. Se trata de la demora o retardo que tiene una condición física con respecto a otra con la que está relacionada.

### 4.3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS PROCESOS

En la selección del equipo de control automático existen dos efectos básicos que ocurren en todos los procesos, deben tomarse en cuenta. Se trata de *cambios de carga* motivados por alteraciones y el *retardo en el proceso*.

Carga: la carga de un proceso se considera como la cantidad total del elemento correctivo de control que se requiere en un instante dado para establecer el nivel de control.

Retardo en el proceso: es el tiempo que necesita la variable para llegar a un nuevo valor después que se produce un cambio de carga.

### 4.4. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático indica que la regulación se produce como una medida correctiva en respuesta a una señal y que se logra sin la intervención humana para efectuar la acción de control. En otras palabras esta acción se inicia automáticamente.

Una característica básica es la forma que el controlador actúa para restaurar la variable controlada al valor deseado. Esto es funcionalmente la modalidad de control.

Las modalidades de control más comunes son:

- De dos posiciones
- De flotación
- Proporcional
- Proporcional con restauración
- De velocidad

#### **4.4.1. CONTROL DE DOS POSICIONES**

El control de dos posiciones solo puede operar cuando el elemento de control esta totalmente encendido o totalmente apagado. Es decir, no existe una posición intermedia de control entre los extremos de encendido y apagado.

#### **4.4.2. CONTROL POR FLOTACIÓN**

El control por flotación mueve el elemento de regulación final a una velocidad constante en cualquier dirección, siempre que la variable controlada cambien un valor predeterminado en relación al punto de ajuste.

#### **4.4.3. CONTROL PROPORCIONAL**

El control proporcional permite una relación lineal fija entre el valor de la variable controlada y la cantidad de control ejercido por el elemento de control final. Un controlador proporcional desplaza el elemento de control final a una posición definitiva por cada valor de la variable controlada.

#### **4.4.4. CONTROL PROPORCIONAL CON RESTAURACIÓN**

Para tener un sistema automático de control proporcional cuando existan cambios de carga, la restauración también debe ser automática. En general, la modalidad de control es la misma que el control proporcional, con la diferencia de que la restauración es automática.

#### **4.4.5. ACCIÓN DE VELOCIDAD**

La acción de velocidad existe solo combinada con la acción proporcional y la proporcional con restauración. Cuando ocurre una desviación, la acción de velocidad



se limita a proporcionar una sobrecorrección inicialmente grande. Esto hace que el elemento de control final proporcione una corrección mayor que la que se tendría con la señal inicial de una acción proporcional o proporcional con restauración.

#### 4.5. PRINCIPIO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO

Todo sistema automático por simple que este sea se basa en el concepto de bucle o lazo, tal y como se representa en la Figura N° 4.1.

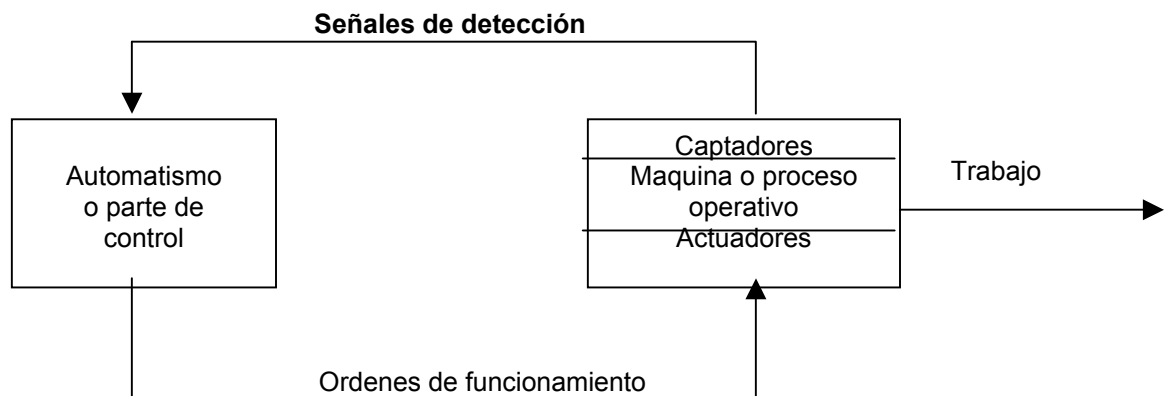


Figura 4.1. Bucle o lazo en un sistema automático.

##### 4.5.1. FASES DE ESTUDIO EN LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL

Para el desarrollo y elaboración correcta de un sistema de control, por el técnico o equipo encargado de ello, es necesario conocer previamente los datos siguientes:

- a) Las especificaciones técnicas del sistema o proceso a automatizar y su correcta interpretación.
- b) La parte económica asignada para no caer en el error de elaborar una buena opción desde el punto de vista técnico, pero inviable económicamente
- c) Los materiales, aparatos, etc., existentes en el mercado que se van a utilizar para diseñar el sistema de control. En este apartado es importante conocer también

- Calidad de la información técnica de los equipos
- Disponibilidad y rapidez en cuanto a recambios y asistencia técnica.

El organigrama de la Figura N° 4.2 representa el procedimiento general o fases mas utilizado para el estudio de los sistema de control.

A continuación se va a estudiar cada uno de los apartados descritos:

**Estudio previo:** Es importante antes de acometer cualquier estudio medianamente serio de un sistema de control el conocer con el mayor detalle posible las características, el funcionamiento, las distintas funciones, etc., de la maquina o proceso a automatizar; esto lo obtenemos de las especificaciones funcionales, esta es la base mínima a partir de la cual podremos iniciar el siguiente paso, es decir, estudiar cuales son los elementos mas idóneos para la construcción del sistema de control.

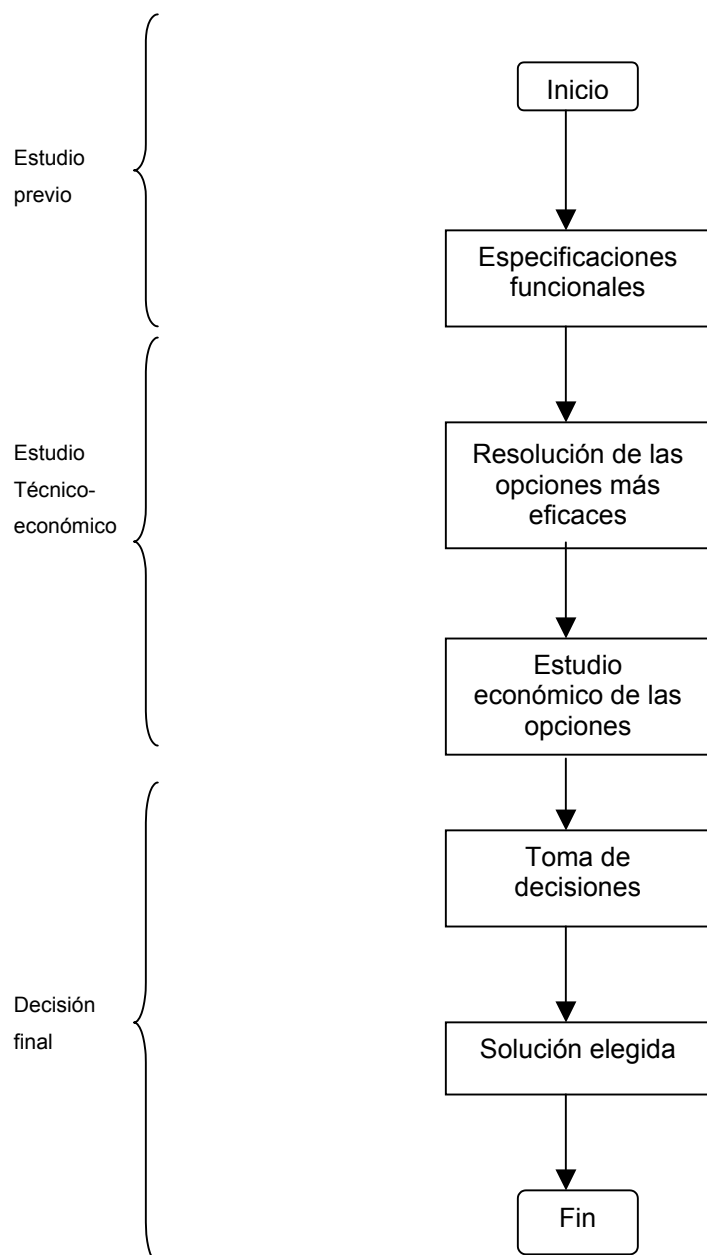
**Estudio técnico-económico:** Es la parte técnica de especificaciones del sistema de control: relación de materiales, aparatos, su adaptación al sistema y al entorno en el que se haya inscrito, etc. También aquí se ha de valorar la parte operativa del comportamiento del sistema de control en todos sus aspectos, como mantenimiento, fiabilidad, etcétera. Es obvio que la valoración económica, que será función directa de las prestaciones del mismo, ha de quedar incluida en esta parte del estudio.

Los parámetros que se deben valorar para una decisión correcta pueden ser muchos y variados, algunos de los cuales serán específicos en función del problema concreto que se va a resolver, pero otros serán comunes, tales como los siguientes:

- Ventajas e inconvenientes que se le asignan a cada opción en relación a su fiabilidad, vida media y mantenimiento.
- Posibilidades de ampliación y de aprovechamiento de lo existente en cada caso.
- Posibilidades económicas y rentabilidad de la inversión realizada en cada opción.

- Ahorro desde el punto de vista de necesidades para su manejo y mantenimiento.

Una vez realizado este análisis solo queda adoptar la solución final elegida.



**Figura 4.2. Organigrama general para el estudio y elaboración de sistemas de control.**

#### 4.6. OPCIONES TECNOLÓGICAS

La tabla 4.1 nos muestra las opciones tecnológicas posibles derivadas de las dos generales: lógica cableada y lógica programada.

**Tabla 4.1. Opciones Tecnológicas Generales**

TIPO	FAMILIA TECNOLÓGICA	SUBFAMILIAS ESPECIFICAS	
Lógica Cableada	Eléctrica	Relés Electroneumáticos	
		Electroneumática	
		Electrohidráulica	
	Electrónica	Electrónica Estática	
Lógica Programable	Electrónica	Sistemas Informáticos	Microprocesadores
			Miniordenadores
		Microsistemas (universales específicos)	
		Autómatas Programables	

#### 4.7. AUTÓMATAS PROGRAMABLES

Se entiende por Controlador Lógico Programable (PLC), o Autómata Programable, a toda maquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en media industrial procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizado por personal eléctrico a electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.

También se le puede definir coma una "caja negra" en la que existen unos terminales de entrada a los que se conectaran pulsadores, finales de carrera, fotocélulas, detectores, etc.; unos terminales de salida a los que se conectaran bobinas de contactores, electro válvulas, lámparas, de tal forma que la actuación de estos últimos esta en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

Esto quiere decir que los elementos tradicionales como relés auxiliares, relés de enclavamiento, temporizadores, contadores..., son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el "programa", que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida

#### **4.7.1. CAMPOS DE APLICACIÓN**

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo al de transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Ejemplos de aplicaciones generales podrían ser los siguientes;

##### a) Maniobra de máquinas

- Maquinaria industrial del mueble y madera.
- Maquinaria en procesos de grava, arena y cemento

- Maquinaria en la industria del plástico.
- Maquinas-herramientas complejas.
- Maquinaria en procesos textiles y de confección
- Maquinaria de ensamblaje.

#### b) Maniobra de instalaciones

- Instalaciones de aire acondicionado, calefacción, etc
- Instalaciones de seguridad.
- Instalaciones de frío industrial.
- Instalaciones de almacenamiento y trasvase de cereales
- Instalaciones de plantas embotelladoras.
- Instalaciones en la industria de automatización.
- Instalaciones de tratamientos térmicos.
- Instalaciones de plantas depuradoras de residuos,
- Instalaciones de cerámica.

#### c) Señalización y control

- Chequeo de programas.
- Señalización del estado de procesos.

### **4.7.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL PLC**

No todos los Automatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y a las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones nos obligan a referirnos a las ventajas que proporciona un Automata de tipo medio.

#### **4.7.2.1. VENTAJAS DEL PLC**

Las condiciones favorables que presenta un PLC son las siguientes:

1) Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que;

- No es necesario dibujar el esquema de contactos.
  - No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del modulo de memoria es lo suficientemente grande.
  - La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.
- 2) Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
  - 3) Mínimo espacio de ocupación.
  - 4) Menor costo de mano de obra de la instalación.
  - 5) Economía de mantenimiento. Además de aumentar la Habilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos Automatas pueden detectar e indicar averías
  - 6) Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo Automata.
  - 7) Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
  - 8) Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el Automata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

#### **4.7.2.2. INCONVENIENTES DEL PLC**

Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido.

Pero hay otro factor importante, como el costo inicial, que puede o no ser un inconveniente, según las características del automatismo en cuestión. Dado que el PLC cubre ventajosamente un amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador, es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su amplitud como en sus limitaciones. Por lo cual, aunque el costo inicial debe ser tomado en cuenta a la

hora de decidir por uno u otro sistema conviene analizar todos los demás factores para asegurarnos una decisión acertada.

A continuación se muestra una descripción de las funciones requeridas para el sistema, así como los elementos necesarios para realizar estas funciones, un diagrama eléctrico que sirve de algoritmo de estas mismas y por último se selecciona el sistema de control aplicable y sus elementos.



## ***SELECCIÓN DE PROCESOS Y EQUIPOS***

---

## 5. ESTUDIO DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE PASTEURIZACION DE JUGOS

Existen diferentes tipos de procesos, los cuales dependen del equipo a utilizar, para realizar la pasteurización de jugos, ellos toman en consideración principalmente cuatro factores, como los son:

- El pH del alimento.
- El momento en el que se sitúa el tratamiento térmico, antes o después del llenado del recipiente en el cual se va a conservar el producto.
- La forma como se aplica el tratamiento térmico, es decir, en grupos o lotes distintos de recipientes o por el contrario de forma continua, ya sea el producto mismo o la sucesión de recipientes.
- El recurrir o no a la agitación mecánica.

Para el estudio se considera únicamente alimentos con  $\text{pH} < 4.5$  por tratarse de jugos cítricos.

Tal como se explico anteriormente un tratamiento térmico moderado es suficiente para la pasteurización de los productos ácidos: en efecto, por un lado los microorganismos mueren fácilmente cuando el pH es bajo; por otra parte, las especies esporuladas termoresistentes, lo mismo que la mayoría de las especies no esporuladas, no se desarrollan en medio ácido, de tal manera que solo hay que preocuparse de las levaduras y los mohos así como de unas pocas especies todas ellas termolábiles.

## **5.1. PASTEURIZACIÓN CON LLENADO ANTES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO**

### **5.1.1. OPERACIÓN DISCONTINUA, SIN AGITACIÓN**

Esta combinación representa los procesos mas sencillos: un baño de agua caliente, en el cual se sumergen los recipientes llenos y sellados y se les mantiene durante el tiempo deseado.

### **5.1.2. OPERACIÓN CONTINUA**

#### **5.1.2.1. CON AGITACIÓN.**

En este proceso se hace necesario el uso de un autoclave hidrostático o hydrolock, al cual los recipientes llenos y sellados, entra por medio de una banda transportadora al interior de estos y en el reciben un baño, generalmente de vapor, por el tiempo suficiente para alcanzar la pasteurización del producto, a medida que el recipiente va rotando o colocándose alternadamente en posición “de pie” y “de cabeza” .

#### **5.1.2.2. SIN AGITACIÓN.**

Este proceso es semejante al anterior solo que debido a las condiciones de operación o del producto no requiere agitación, debido a esto los equipos utilizados tienden a ser mas sencillos en su diseño, y no tienen necesidad de trabajar a altas presiones.

## **5.2. PASTEURIZACIÓN CON LLENADO DESPUES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO.**

### **5.2.1. OPERACIÓN CONTINUA.**

Cuando se realiza el llenado del producto después del tratamiento térmico se requiere que el proceso sea continuo.

## **5.2.2. OPERACIÓN CONTINUA.**

### **5.2.2.1. SIN AGITACIÓN.**

La pasteurización sin agitación previa al envasado, esta representada principalmente por los aparatos de precocción utilizados para algunas frutas que se conservan bajo la forma de pulpas o purés para mermeladas y otras preparaciones. Estos aparatos son transportadores con cintas de malla en acero inoxidable, que llevan las frutas a un baño de agua caliente o de vapor.

### **5.2.2.2. CON AGITACIÓN.**

Es el proceso mas utilizado en la industria alimenticia en cuanto a pasteurización se refiere, se utiliza básicamente de dos formas: llenado en caliente, cierre del recipiente y “autopasteurización” y enfriamiento o bien, enfriamiento del producto, llenado aséptico y cierre del recipiente.

En el primer método, se utiliza el calor del producto para calentar y pasteurizar el recipiente y su tapa, por lo tanto después del llenado y cierre se debe voltear el recipiente o agitarlo, para que el contenido se ponga en contacto con toda la superficie interior y la lleve a la temperatura deseada. Después del cierre los recipientes que hayan sido agitados o simplemente volteados deben esperar de 3 a 4 minutos antes de enfriarlos, para que se pueda realizar la “autopasteurización”. El enfriamiento posterior debe ser rápido y completo.

En el segundo método el producto es enfriado hasta una temperatura adecuada, luego de pasteurizado, y enviado a la maquina de envasado para proceder a un llenado aséptico. Para este método el envase debe estar previamente esterilizado.

Los equipos utilizados regularmente para realizar este proceso son los intercambiadores de calor tubulares o de placas.

### **5.3. SELECCIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE JUGOS MAS ADECUADO PARA LA EMPRESA.**

Para realizar la selección del proceso de pasteurización mas adecuado para la empresa, tenemos que considerar los mismos factores analizados anteriormente (pH del alimento, momento en el cual se sitúa el tratamiento térmico, la forma como se aplica el tratamiento térmico y el recurrir o no a agitación mecánica), además de adecuarnos a la normativa vigente según la legislación venezolana para las empresas productoras de jugos de naranja.

Según la norma COVENIN 1701-89 para la naranjada, el cual es el producto principal a elaborar por la empresa. La norma establece que el producto debe ser envasado asépticamente y que para lograr la pasteurización de este se debe utilizar el tratamiento térmico de alta temperatura-corto tiempo, HTST por sus siglas en ingles. De acuerdo con la norma, el proceso debe ser continuo.

Según las condiciones preestablecidas por la empresa, el proceso debe ser continuo con tratamiento térmico antes del llenado del recipiente y envasado en frío (a una temperatura menor de 35 °C). Esto debido a que el resto de la maquinaria requerida se esta diseñando o fabricando en paralelo a este estudio.

Debido a lo anteriormente expuesto, el método a utilizar para la pasteurización de nuestro producto será el de llenado después del tratamiento térmico con una operación continua y con agitación del producto.

#### **5.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN.**

Se selecciono un intercambiador de calor de placas, siendo este el equipo que mejor se adapta a las necesidades de la empresa, ya que este tipo de intercambiador de calor permite por ser modular aumentar o disminuir el caudal de trabajo. Como la empresa en un principio tiene pautado trabajar con un caudal bajo, de 4000 lts/día, este equipo les permitirá aumentar su caudal de trabajo fácilmente con el aumento del número de placas previo cálculo realizado.

El intercambiador de calor de placas es de fácil desmontaje en comparación con otros equipos, tales como los intercambiadores de concha y tubo o los intercambiadores compactos, facilitando de esta forma su mantenimiento y por ser este un equipo para la industria de alimentos es muy importante cumplir con las normas sanitarias referentes a la higiene del equipo.

Por ser un equipo de tamaño compacto en relación con los intercambiadores de concha y tubo, son más económicos en cuanto a instalación.

Tienen un diseño que maximiza la posibilidad de recuperación de calor por consiguiendo un ahorro de energía, que es traducido en un ahorro de dinero.

#### **6. METODO DE CALCULO DE UN INTERCAMBIADOR DE PLACAS**

El calculo para este tipo de intercambiadores se realiza en base al modelo HTF de Chester –Jensen, 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.

Para lograr finalmente determinar el área que se necesita para la operación de estos intercambiadores, en sus combinaciones de tipo serie o lazo.

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

Pasos :

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.

$$Q = \dot{m}_1 \times Cp_1 \times \Delta T_1 = \dot{m}_2 \times Cp_2 \times \Delta T_2 \quad (6.1)$$

$m$  = Flujo Masico.

$Cp$  = Conductividad Térmica.

$T$  = Temperatura.

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

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (6.2)$$

$T_1, T_2$  = fluido caliente

$t_1, t_2$  = fluido frío

1: entrada

2: salida

4. Calcular el diámetro equivalente ( $d_e$ ).

$$d_e = 2 \times b_p \quad (6.3)$$

$b_p$  = ancho del canal de las placas

5. Se calcula el área de flujo ( $a_f$ ).

$$a_f = b_p \times b_g \quad (6.4)$$

$b_g$  = ancho entre las gomas

6. Se obtiene la velocidad masica para el fluido frío y para el fluido caliente.

$$G_m = \frac{W_m}{a_f} \quad (6.5)$$

$G_m$  = velocidad masica

$W_m$  = flujo masico

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

$$Re = \frac{d_e \left( \frac{G_m}{\eta_p} \right)}{\mu} \quad (6.6)$$

$\eta_p$  = numero de corrientes

NOTA: para flujos en serie  $\eta_p=1$ , en todas los casos para flujos en lazo el valor de  $\eta_p$  dependerá de las características de las placas



8. Calcular el número de Prandtl para ambos fluidos.

$$\text{Pr} = \frac{(C_p \times \mu)}{k} \quad (6.7)$$

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

$$h = 0,2536 \times \left( \frac{k}{de} \right) \times \text{Re}^{0,65} \times \text{Pr}^{0,4} \quad (6.8)$$

10. Calcular el coeficiente global limpio ( $U_c$ ).

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h_f} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_c} \quad (6.9)$$

$e$  = Espesor de la placa.

$h_f$  = Coeficiente individual para la corriente fría.

$h_c$  = Coeficiente individual para la corriente caliente.

$U_c$  = Coeficiente global limpio.

11. Se obtiene el coeficiente global de transferencia de calor ( $U_D$ )

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_{d_i} + R_{d_o} \quad (6.10)$$

$R_{d_i}$  = Factor de ensuciamiento interno.

$R_{d_o}$  = Factor de ensuciamiento externo.

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  $F_p=1$ , y calcular el área de transferencia de calor.

$$A = \frac{Q}{U_D \times F_p \times \Delta T_{mi}} \quad (6.11)$$

$F_p$  = factor de corrección de temperatura para intercambiadores de placas

13. Calcular el número de placas (N).

$$N = \frac{A}{A_p} \quad (6.12)$$

$A_p$  = área de transferencia de calor de la placa.

14. Calcular el factor de corrección con el número de placas obtenido, a partir de los gráficos que se encuentran en el Perry 1995 (factor de corrección para el diseño de intercambiadores con arreglos de flujo en serie). 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 flujo tipo lazo.*

11. Suponer un factor de corrección de 0.95 para casos generales y calcular el área de transferencia de calor, a partir de la ecuación (6.11).
12. Calcular el número de placas a partir de la ecuación (6.12).

13. Si  $N$  es un número impar de placas el número 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 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  $nc=2$ , 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 en 7 con el determinado luego de haber concluido las iteraciones hasta que los valores concuerden, se debe notar que, que en el paso 11, se debe usar valores de  $Fp=0.942$  para  $N$  impares y  $Fp=0.967$  para  $N$  pares.

14. Caída de presión.

14.1. Se obtiene el factor de fricción  $f$  para cada corriente

$$f = 2.5 \left( \frac{G \times de}{\mu} \right)^{-0.3} \quad (6.13)$$

14.2. Se calcula la caída de presión en ambas corrientes.

$$\Delta P = \frac{2 \times f \times G^2 \times Lf}{\rho \times de} \quad (6.14)$$

$Lf$  = Velocidad del área de flujo.

$G$  = Velocidad masica.

## 7. MÉTODO DE CALCULO PARA EL TUBO RETENEDOR

Para el cálculo del tubo retenedor se opto por el mas sencillo de todos los intercambiadores de calor, como son los de tubo concéntrico o doble tubo, ya que solo se requiere mantener el jugo a 72°C durante 15 segundos para completar el proceso de pasteurización.

Para la realización de los balances de energía y análisis subsecuentes se toman las siguientes suposiciones.

- 1) El intercambio de calor esta aislado de sus alrededores en cuyo caso el único intercambio de calor es entre los fluidos caliente y frío.
- 2) La conducción axial a lo largo de los tubos es insignificante.
- 3) Los cambios de energía potencial y cinética son despreciables
- 4) Los calores específicos de los fluidos son insignificantes.
- 5) El coeficiente global de coeficiente de calor es constante

Aunque alguna de estas suposiciones no son del todo ciertas, podemos considerar los resultados como una aproximación bastante confiable para nuestro diseño.

Si  $q$  es la transferencia total de calor entre los fluidos caliente y frío, la transferencia de calor al ambiente es insignificante y los cambios de energía potencial y cinética son despreciables, la aplicación de un balance de energía sera:

$$q = \dot{m}_c (h_{hi} - h_{h,o}) \quad (7.1)$$

$$q = \dot{m}_c (h_{c,o} - h_{c,i}) \quad (7.2)$$

donde  $h$  es la entalpia del fluido, los subindices  $h$  y  $c$  se refieren a los fluidos caliente y frío respectivamente, en tanto que  $i$ ,  $o$  designan las condiciones de entrada y salida

del fluido. Como los fluidos no experimentan cambio de fase y exponen calores específicos constantes, estas expresiones se reducen a :

$$q = \dot{m}_h \times Cp_h (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (7.3)$$

$$q = \dot{m}_c \times Cp_c (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (7.4)$$

donde las temperaturas que aparecen en la expresión se refieren a las temperaturas medias del fluido en las posiciones ya señaladas. Estas ecuaciones son independientes del arreglo del flujo.

**CÁLCULO**

## 8. CÁLCULO DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS

Cálculo para determinar el número de placas en la zona de regeneración.

Parámetros de cálculo:

Tabla N°: 8.1 Datos del jugo proveniente del tanque

JUGO A PASTEURIZAR	NARANJA		
PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Caudal	Q	lts/hr	1000
Temperatura de entrada	t1	K	291,15

Tabla N°: 8.2 datos del jugo proveniente del retenedor

JUGO A PASTEURIZAR	NARANJA		
PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Caudal	Q	lts/hr	1000
Temperatura de entrada	t1	K	345,15
Temperatura de salida	t2	K	305,15

Siguiendo el método de Chester-Jensen.

Suposiciones generales

- La transferencia de calor al ambiente es insignificante.
- Dentro del intercambiador de calor los fluidos solo se encuentran en fase líquida.
- El coeficiente de transferencia de calor es constante a través del intercambiador.

Paso 1:

Determinar las propiedades termofísicas.

Tabla N°: 8.3 Propiedades termofísicas del jugo

CARACTERISTICAS FISICAS	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Calor específico	Cp	joul/kg x K	3890
Viscosidad	$\mu$	Kg/m*s	0,00115
Densidad	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1043
Conductividad Térmica	k	W/m*K	0,554

Paso 2:

Se calcula el calor transferido utilizando la ecuación (6.1), en la zona de regeneración.

$$Q = 0,2897 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 3890 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} \times \text{K}} \times (345,15 - 305,15) \text{K} \Rightarrow \boxed{Q = 45007,32 \text{ W}}$$

Paso 3:

Se calcula la temperatura de salida del jugo de la zona de regeneración en dirección a la zona de calentamiento, para ello igualamos la ecuación (6.1), entre los fluidos que salen del tubo retenedor y el que entra a la zona de recuperación proveniente del tanque.

$$t_2 = (T_1 - T_2) + t_1 = (345,15 \text{ K} - 305,15 \text{ K}) + 291,15 \text{ K} \Rightarrow \boxed{t_2 = 331,15 \text{ K}}$$



Paso 4:

Se determina la temperatura media logarítmica, por ser fluidos que tienen la misma capacitancia térmica no se utiliza la ecuación (6.2). La diferencia de temperaturas  $\Delta T$  entre los fluidos que entran al intercambiador proveniente del tanque y del tubo retenedor, debe entonces ser una constante a través del intercambiador (zona de recuperación), en cuyo caso  $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_{ml}$

$$\Delta T_{ml} = T_1 - t_2 \Rightarrow \Delta T_{ml} = 345,15 K - 331,15 K \Rightarrow \boxed{\Delta T_{ml} = 14 K}$$

Paso 5:

Se calcula el diámetro equivalente con la ecuación (6.3).

$$de = 2 \times 0,0025m \Rightarrow \boxed{de = 0,005m}$$

Paso 6:

Se calcula el área de flujo con la ecuación (6.4)

$$af = 0,0025m \times 0,171m \Rightarrow \boxed{af = 0,0004275m^2}$$

Paso 7:

Se calcula la velocidad masica para cada uno de los fluidos que intercambian calor, con la ecuación (6.5)

Fluido caliente:

$$Gm_c = \frac{0,2897 \frac{Kg}{s}}{0,0004275m^2} \Rightarrow \boxed{Gm_c = 667,6608 \frac{Kg}{s \times m^2}}$$

Fluido frío:

$$Gm_f = \frac{0,2897 \frac{Kg}{s}}{0,0004275m^2} \Rightarrow \boxed{Gm_f = 667,6608 \frac{Kg}{s \times m^2}}$$

Paso 8:

Se calcula el numero de Reynolds para ambos fluidos con la ecuación (6.6).

Fluido caliente:

$$Re_c = \frac{0,005m \times \left( \frac{667,6608}{1} \cdot \frac{Kg}{s \times m^2} \right)}{0,00115 \frac{Kg}{m \times s}} \Rightarrow \boxed{Re_c = 2946,3514}$$

Fluido frío:

$$Re_f = \frac{0,005m \times \left( \frac{667,6608}{1} \cdot \frac{Kg}{s \times m^2} \right)}{0,00115 \frac{Kg}{m \times s}} \Rightarrow \boxed{Re_f = 2946,3514}$$

Paso 9:

Se calcula el número de Prandtl para ambos fluidos con la ecuación (6.7).

Fluido caliente:

$$\text{Pr}_c = \frac{3980 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} \times \text{K}} \times 0,00115 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \times \text{s}}}{0,554 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}} \Rightarrow \boxed{\text{Pr}_c = 8,0749}$$

Fluido frío:

$$\text{Pr}_f = \frac{3980 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} \times \text{K}} \times 0,00115 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \times \text{s}}}{0,554 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}} \Rightarrow \boxed{\text{Pr}_f = 8,0749}$$

Paso 10:

Se calcula el coeficiente individual para la corriente fría  $h_f$  y para la corriente caliente  $h_c$  según la ecuación (6.8).

Fluido caliente:

$$h_c = 0,2536 \times \frac{0,554 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}}{0,005\text{m}} \times 2946,3514^{0,65} \times 8,0749^{0,4} \Rightarrow \boxed{h_c = 11656,792 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}}$$

Fluido frío:

$$h_f = 0,2536 \times \frac{0,554 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}}{0,005\text{m}} \times 2946,3514^{0,65} \times 8,0749^{0,4} \Rightarrow \boxed{h_f = 11656,792 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}}$$

Paso 11:

Se calcula el coeficiente global limpio por medio de la ecuación (6.9).

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{11656,792 \frac{W}{m^2 \times K}} + \frac{0,0025m}{15,2 \frac{W}{m \times K}} + \frac{1}{11656,792 \frac{W}{m \times K}} \Rightarrow \boxed{U_c = 4738,2702 \frac{W}{m^2 \times K}}$$

Paso 12:

Se calcula el coeficiente global limpio de calor a partir de la ecuación (6.10)

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{4738,2702 \frac{W}{m^2 \times K}} + 0,002 + 0,0002 \Rightarrow \boxed{U_D = 1636,534 \frac{W}{m^2 \times K}}$$

Paso 13:

Para flujo en serie se supone un factor de corrección de 1 el numero de placas con este valor fue de 14 utilizando para ello las ecuaciones (6.11) y (6.12), pero al calcular el valor de  $Fp$  en las tablas del Perry, este valor es de 0,85 iterando en función del mismo se obtienen los siguientes resultados.

$$A = \frac{45077,42W}{1636,534 \frac{W}{m^2 \times K} \times 0,85 \times 14 K} \Rightarrow \boxed{A = 2,3146 m^2}$$

$$N = \frac{2,3146 m^2}{0,1392 m^2} \Rightarrow \boxed{N = 16,6044 \approx 17}$$

determinando el nuevo  $Fp$  según las tablas del Perry,  $Fp=0,85$  por lo tanto el número de placas para la zona de regeneración es de 17

## 8.1. CÁLCULO PARA DETERMINAR EL NUMERO DE PLACAS EN LA ZONA DE CALENTAMIENTO.

Parámetros de cálculo:

Tabla N°: 8.4 Datos del jugo a la entrada de la zona de calentamiento.

JUGO A PASTEURIZAR	NARANJA		
PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Caudal	Q	lts/hr	1000
Temperatura de entrada	t1	K	331,15

Tabla N°: 8.5 Datos del fluido caliente

JUGO A PASTEURIZAR	NARANJA		
PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Caudal	Q	lts/hr	1000
Temperatura de entrada	t1	K	363,15
Temperatura de salida	t2	K	333,15

Siguiendo el método de Chester-Jensen.

Paso 1:

Determinar las propiedades termo físicas.

Para las propiedades termofísicas del jugo ver tabla N° 8.3

Tabla N°: 8.6 Propiedades termofísicas del agua

CARACTERISTICAS FISICAS	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Calor específico	Cp	joul/kg x K	4217
Viscosidad	$\mu$	Kg/m*s	0,00121
Densidad	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1000
Conductividad Térmica	k	W/m*K	0,594

Paso 2:

Se calcula el calor transferido utilizando la ecuación (5.2), en la zona de calentamiento.

$$Q = 0,2897 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 3890 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} \times \text{K}} \times (345,15 - 331,15) \text{K} \Rightarrow \boxed{Q = 15777,062 \text{ W}}$$

Paso 3:

Se calcula el flujo masico del agua, para ello utilizamos la ecuación (6.1),

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \times \Delta T} = \frac{15777,062 \text{ W}}{4217 \frac{\text{joul}}{\text{Kg} \times \text{K}} \times (363,15 - 333,15) \text{K}} \Rightarrow \boxed{\dot{m} = 0,1247 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}$$

Paso 4:

Se calcula la temperatura media logarítmica por medio de la ecuación (6.2)

$$\Delta T = \frac{(363,15 - 345,15) \text{K} - (333,15 - 301,15) \text{K}}{\text{Ln} \left( \frac{(363,15 - 345,15) \text{K}}{(333,15 - 301,15) \text{K}} \right)} \Rightarrow \boxed{\Delta T = 7,28 \text{ K}}$$

Paso 5:

Se calcula el diámetro equivalente con la ecuación (6.3).

$$de = 2 \times 0,0025m \Rightarrow \boxed{de = 0,005m}$$

Paso 6:

Se calcula el área de flujo con la ecuación (6.4)

$$af = 0,0025m \times 0,171m \Rightarrow \boxed{af = 0,0004275m^2}$$

Paso 7:

Se calcula la velocidad masica para cada uno de los fluidos que intercambian calor, con la ecuación (6.5)

Fluido caliente:

$$Gm_c = \frac{0,1247 \frac{Kg}{s}}{0,0004275m^2} \Rightarrow \boxed{Gm_c = 291,7193 \frac{Kg}{s \times m^2}}$$

Fluido frío:

$$Gm_f = \frac{0,2897 \frac{Kg}{s}}{0,0004275m^2} \Rightarrow \boxed{Gm_f = 667,6608 \frac{Kg}{s \times m^2}}$$

Paso 8:

Se calcula el numero de Reynolds para ambos fluidos con la ecuación (6.6).

Fluido caliente:

$$Re_c = \frac{0,005m \times \left( \frac{291,7193}{1} \cdot \frac{Kg}{s \times m^2} \right)}{0,00121 \frac{Kg}{m \times s}} \Rightarrow \boxed{Re_c = 1205,4516}$$

Fluido frío:

$$Re_f = \frac{0,005m \times \left( \frac{667,6608}{1} \cdot \frac{Kg}{s \times m^2} \right)}{0,00115 \frac{Kg}{m \times s}} \Rightarrow \boxed{Re_f = 2946,3514}$$

Paso 9:

Se calcula el numero de Prandtl para ambos fluidos con la ecuación (6.7).

Fluido caliente:

$$Pr_c = \frac{4217 \frac{joul}{Kg \times K} \times 0,00121 \frac{Kg}{m \times s}}{0,594 \frac{W}{m \times K}} \Rightarrow \boxed{Pr_c = 8,5901}$$

Fluido frío:

$$Pr_f = \frac{3980 \frac{joul}{Kg \times K} \times 0,00115 \frac{Kg}{m \times s}}{0,554 \frac{W}{m \times K}} \Rightarrow \boxed{Pr_f = 8,0749}$$



Paso 10:

Se calcula el coeficiente individual para la corriente fría  $h_f$  y para la corriente caliente  $h_c$  según la ecuación (6.8).

Fluido caliente:

$$h_c = 0,2536 \times \frac{0,594 \frac{W}{m \times K}}{0,005m} \times 1205,4516^{0,65} \times 8,5901^{0,4} \Rightarrow \boxed{h_c = 7166,6148 \frac{W}{m^2 \times K}}$$

Fluido frío:

$$h_f = 0,2536 \times \frac{0,554 \frac{W}{m \times K}}{0,005m} \times 2946,3514^{0,65} \times 8,0749^{0,4} \Rightarrow \boxed{h_f = 11656,792 \frac{W}{m^2 \times K}}$$

Paso 11:

Se calcula el coeficiente global limpio por medio de la ecuación (6.9).

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{11656,792 \frac{W}{m^2 \times K}} + \frac{0,0025m}{15,2 \frac{W}{m \times K}} + \frac{1}{7166,6148 \frac{W}{m \times K}} \Rightarrow U_c = 3776,4853 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Paso 12:

Se calcula el coeficiente global limpio de calor a partir de la ecuación (6.10)

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{3776,4853 \frac{W}{m^2 \times K}} + 0,002 + 0,0002 \Rightarrow \boxed{U_D = 1504,2198 \frac{W}{m^2 \times K}}$$

Paso 13:

Para flujo en serie se asume un factor de corrección de 1, el numero de placas con este valor fue de 11, utilizando para ello las ecuaciones (6.11) y (6.12), pero al calcular el valor de  $Fp$  en las tablas del Perry, este valor nos daba 0,85 por lo tanto se itero en función de este valor con los siguientes resultados.

$$A = \frac{15777, W}{1504,2198 \frac{W}{m^2 \times K} \times 0,85 \times 7,28 K} \Rightarrow \boxed{A = 1,6275 m^2}$$

$$N = \frac{1,6275 m^2}{0,1392 m^2} \Rightarrow \boxed{N = 12,1559 \approx 13}$$

Al volver determinar el valor de  $Fp$ , este valor fue de 0,85 por lo tanto el numero de placas para la zona de regeneración es de 13

Por lo tanto el numero total de placas será el obtenido en la zona de regeneración sumado a los obtenidos en la zona de calentamiento.

$$N_t = N_{zr} + N_{zc}$$

$$N_T = 17 + 13 = 30$$

El sistema pasteurizador constara de 30 placas.

## 8.2 CÁLCULO DEL TUBO RETENEDOR

Según los requerimientos del equipo se debe mantener el jugo a 72°C durante 15 segundos, tomando como fluido interno al jugo, se utiliza un tubo de 1 1/2 " calibre BWG 14 Acero inoxidable S316.

Datos:

$$Q=1000 \text{ lt/hr} = 0,2777 \text{ lt/s} = 2,7777 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{15\text{seg}} = 2,7777 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 15\text{s} = 4,1667 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Este es el volumen que ocupara el liquido dentro del tubo:

$$V_t = \frac{\pi}{4} \phi^2 L$$

Donde :

$\phi$  : Diámetro interno de la tubería.

L : Longitud de la tubería.

Por lo tanto el valor de la longitud de la tubería viene dado por la siguiente expresión.

$$L = \frac{4 V_t}{\pi \phi^2}$$

$$L = \frac{4 \times 4,1667 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{\pi \times (0,0338) \text{ m}^2} \Rightarrow \boxed{L = 4.6028 \text{ m}}$$

### 8.3 CÁLCULO DEL FLUJO MASICO DE AGUA PARA EL TUBO RETENEDOR

Para el cálculo se considera un incremento de temperatura de 1°C , con la finalidad de facilitar el desarrollo del cálculo.

Tabla N°: 8.7 Datos de los fluidos para el calculo del flujo masico de agua.

DATOS	SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
Calor especifico del agua	Cp	joul/kg x K	4217
Calor especifico del jugo	Cp	joul/kg x K	3891
Flujo masico	m	kg/s	0,2897
Temperatura del jugo salida de tubo	Tjo	°C	72
Temperatura del jugo entrada de tubo	Tji	°C	73
Temperatura del agua salida de tubo	Tao	°C	90
Temperatura del agua salida de tubo	Tai	°C	80

$$q = \dot{m}_c C p_c (T_{ci} - T_{co}) = \dot{m}_f C p_f (T_{fo} - T_{fi})$$

$$\dot{m}_A = \frac{\dot{m}_j C p_j (T_{j,o} - T_{j,i})}{C p_A (T_{A,i} - T_{A,o})} = \frac{0,2887 \frac{Kg}{s} \times 3890 \frac{joul}{Kg \times K} \times 1K}{4217 \frac{joul}{Kg \times K} \times (363,15 - 353,15)K} \Rightarrow \boxed{\dot{m}_A = 0,2663 \frac{Kg}{s}}$$

#### 8.4 CÁLCULO DE LA TUBERÍA EXTERNA DEL TUBO RETENEDOR.

El volumen ocupado por el agua para el mismo tiempo de 15 segundos viene dado por la siguiente formulación.

$$V = \frac{\dot{m} \times t}{\rho}$$

$$V = \frac{0,2663 \frac{Kg}{s} \times 15s}{1043 \frac{Kg}{m^3}} \Rightarrow \boxed{V = 3,8298 \times 10^{-3} m^3}$$

$$V = \frac{\pi \times L}{4} (\phi_1^2 - \phi_2^2)$$

Donde:

$\phi_1$ =Diámetro interior de la tubería exterior

$\phi_2$ =Diámetro exterior de la tubería interior

L= Longitud de la tubería

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{4 \times V}{\pi \times L} + \phi_2^2}$$

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{4 \times 3,8298 \times 10^{-3} m^3}{\pi \times 4.6028 m^2} + (0,0381 m)^2} \Rightarrow \boxed{\phi_1 = 5,01 \times 10^{-2} m}$$

$$\phi_1 = 1,97 \text{ pulg.} \approx 2 \text{ pulg.}$$

Se selecciono la tubería de 2 pulg. Calibre BMG 14, Acero inoxidable S316 L

### 8.5 CÁLCULO DE LA BOMBA SANITARIA

Para el cálculo de la bomba sanitaria se realiza un balance de energía:

$$e_1 + H = e_2 + h_f$$

$$H = e_2 - e_1 + h_f$$

donde:

$$e_1 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2 \times g} + Z_1$$

$$e_2 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2 \times g} + Z_2$$

$$h_f = \frac{f \times L_{equiv.} \times V^2}{\phi \times 2 \times g}$$

Para el cálculo de la longitud equivalente se utiliza las tablas del Cameron .El sistema esta compuesto de 10,24m de tubería recta , 10 codos ,5 válvulas de compuerta,3 retornos, 1valvula de dos vías y 1 medidor magnético de turbina.

$$L_{equiv.} = 357,142 \text{ m}$$

Como los tanques de llenado y de balance son atmosféricos las presiones son iguales,

Las velocidades son iguales en ambos tanques.

La diferencia de cota entre ambos tanques esta en el orden de 1-1,5 m

f=0,021 ; para una tubería de 1½ pulg.

$$h_f = \frac{0,021 \times 357,142 \text{ m} \times \left(0,3048 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,03398 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \Rightarrow \boxed{h_f = 1,044 \text{ m}}$$

se aplica un factor de corrección por estar utilizando un fluido con sólidos en suspensión, Fp 20%

$$h_f = 1,044 \text{ m} \times 1,20 = 1,25 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \text{ m} + 1,25 \text{ m} \Rightarrow H = 2,75 \text{ m}.$$

con este valor y el caudal de operación , se selecciona la bomba, mediante tablas suministradas por el fabricante( ver anexos).

Bomba modelo T4, suministrada por GIROPAK C.A. Bomba sanitaria centrífuga de 1/2 HP, que opera a 1750RPM, con un rotor de 3-7/8 pulg.

INTERCAMBIADOR DE PLACAS				
REPORTE DE RESULTADOS				
METODO UTILIZADO:		METODO DE CHESTER & JENSEN		
FLUIDO CALIENTE		AGUA		
FLUIDO FRIO		JUGO		
VARIABLES		SIMBOLO	UNIDADES	VALOR
FLUIDO CALIENTE				
TEMPERATURA DE ENTRADA		T <sub>1</sub>	K	363,15
TEMPERATURA DE SALIDA		T <sub>2</sub>	K	333,15
FLUJO MASICO		mc	Kg/s	0,2897
VELOCIDAD MASICA		Gmc	Kg/m <sup>2</sup> *s	291,72
FLUIDO FRIO				
TEMPERATURA DE ENTRADA		t <sub>1</sub>	K	291,15
TEMPERATURA DE SALIDA		t <sub>2</sub>	K	345,15
TEMPERATURA DE ENVASADO		T	K	305,15
FLUJO MASICO		mf	Kg/s	0,1247
VELOCIDAD MASICA		Gmf	Kg/m <sup>2</sup> *s	677,66
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR				
COEFICIENTE INDIVIDUAL FLUIDO CALIENTE		hc	W/m <sup>2</sup> *k	7166,61
COEFICIENTE INDIVIDUAL FLUIDO FRIO		hf	W/m <sup>2</sup> *k	11656,79
COEFICIENTE GLOBAL LIMPIO		Uc	W/m <sup>2</sup> *k	3776,49
COEFICIENTE GLOBAL DE DISEÑO(SUCIO)		Ud	W/m <sup>2</sup> *k	1504,22
AREA Y NUMERO DE PLACAS( SECCIÓN 1)				
AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR		A	m <sup>2</sup>	1,69
NUMERO DE PLACAS		N <sub>1</sub>	Adimensional	13
AREA Y NUMERO DE PLACAS( SECCIÓN 2)				
AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR		A	m <sup>2</sup>	2,31
NUMERO DE PLACAS		N <sub>2</sub>	Adimensional	17
NUMERO DE PLACAS TOTALES				
NUMERO DE PLACAS		N	Adimensional	30
BALANCE DE ENERGIA				
CALOR TRANSFERIDO		Q	W	15777,06

Tabla 8.8 Tabla de resultados



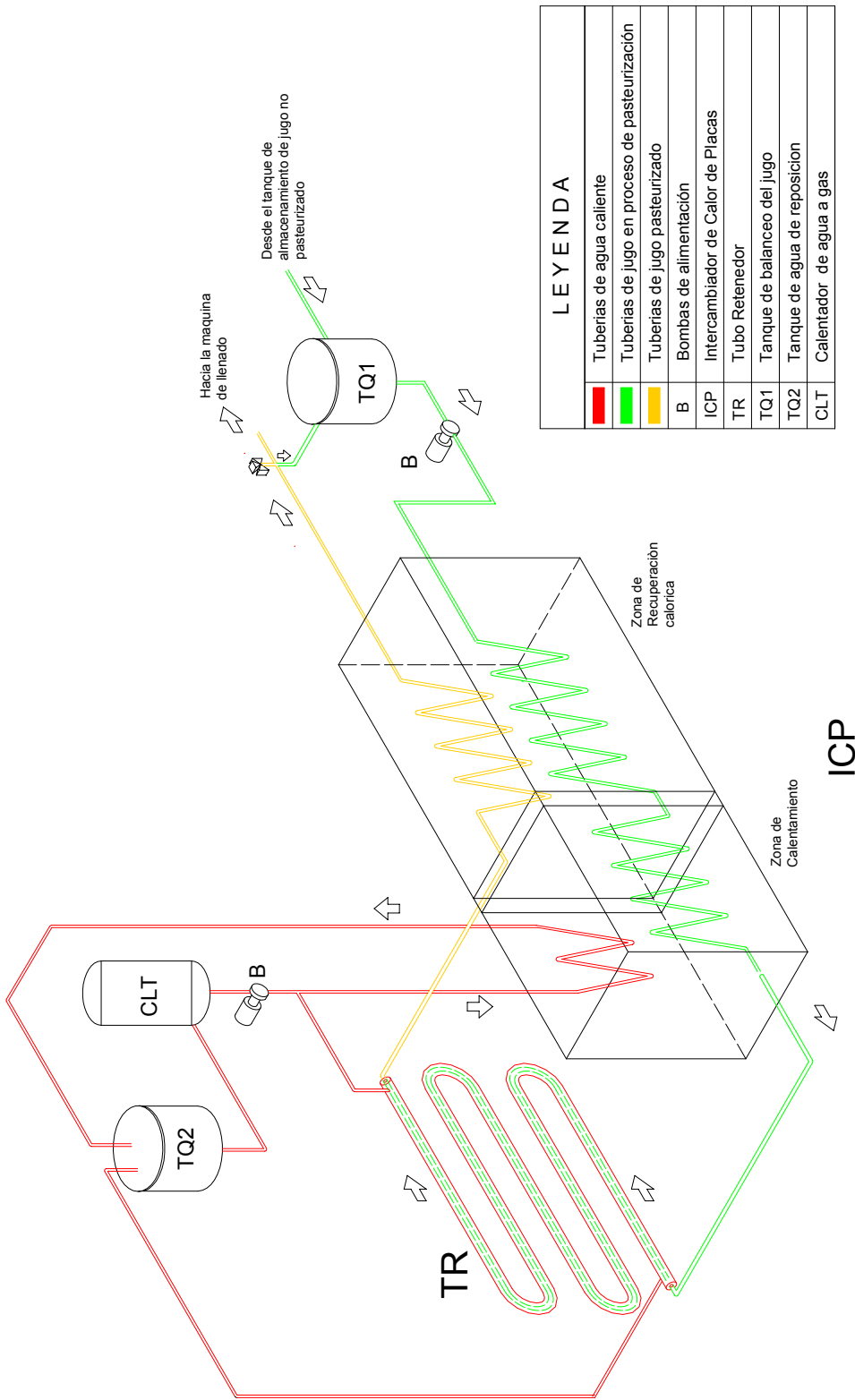


Figura 8. Esquema del sistema pasteurizador

## ***SISTEMA DE CONTROL***

---

## **9. SISTEMA DE CONTROL**

En el desarrollo del sistema de control del equipo pasteurizador se debe definir antes que nada los parámetros a medir y a controlar.

Antes de continuar se debe recordar que el equipo se utiliza en la industria alimentaria, por lo tanto debe cumplir con ciertas normativas, entre otras cosas, se debe llevar un registro del proceso y sus condiciones de operación, a saber, temperatura del fluido a la entrada y a la salida del tubo retenedor, el caudal del jugo a pasteurizar y la posición de la válvula de dos vías (by pass). Con esta información se establece el lazo de control.

El proceso a controlar es básicamente garantizar la permanencia del tubo a 72°C durante 15 segundos dentro del tubo de retención.

El diseño del tubo de retención se realiza de forma que el jugo permanezca dentro del tubo durante los 15 segundos requeridos, entonces solo se debe verificar que cumpla con la temperatura establecida, para esto se realiza las mediciones de temperatura antes y después del retenedor, si cumple con los requisitos de pasteurización el jugo pasa a la tubería que conduce al tanque de llenado; si no cumple con los requisitos es desviado mediante la válvula de dos vías nuevamente al tanque de jugo no pasteurizado, mientras que el sistema de control aumentará o disminuirá, según corresponda, el caudal del agua de calentamiento, a la vez que produce una señal de alarma luminosa para que el operario supervise el regreso del sistema hasta sus condiciones de trabajo.

Teniendo establecido el proceso a controlar, se encuentra que es de uso común en la industria alimentaria, para los procesos de pasteurización, el uso de instrumentos HTST, el cual indica, registra y controla este tipo de procesos. Se encontró en el mercado uno de estos instrumentos que encaja perfectamente con las características del proceso, ya que cuenta con cuatro entradas analógicas y

dos salidas para el control del proceso. Estos equipos controlan el registro en todo el proceso en tiempo real.

El sistema de control contara entonces con un instrumento STRL, una válvula solenoide de dos vías (by pass), una válvula solenoide, dos termocuplas, dos manómetros, un medidor de caudal de tipo turbina para el jugo y dos medidores de caudal de turbina para las tuberías de agua caliente.



***RENTABILIDAD ECONÓMICA PARA LA CONSTRUCCIÓN  
DEL EQUIPO EN COMPARACIÓN CON EQUIPOS  
EXISTENTES***

---

## **10. RENTABILIDAD DEL EQUIPO**

La rentabilidad engloba muchos tópicos, pero para los efectos de este estudio se referirá únicamente a la comparación entre los costos de fabricación del equipo de pasteurización diseñado y los costos de los equipos de similares características que se pueden comprar en el mercado nacional.

El sistema pasteurizador consta de los siguientes componentes:

- Tanque de balanceo.
- Bomba de alimentación.
- Intercambiador de calor de placas.
- Tubo retenedor.
- Codos de acero inoxidable.
- Tuberías rectas de acero inoxidable.
- Válvula solenoide de tres vías.
- Válvula solenoide de dos vías.
- Válvulas tipo compuerta.
- Medidores de caudal tipo turbina.
- Termocuplas
- Manómetros.
- Sistema de tuberías.

## 10.1 LISTA DE PRECIOS

TABLA 10. LISTA DE PRECIOS

Cantidad	Producto	Precio unitario	Precio total
1	Tanque de balanceo.	1.600.000,00	1.600.000,00
1	Bomba de alimentación.	980.000,00	980.000,00
1	Instrumento de control STRL.	4.800.000,00	4.800.000,00
1	Intercambiador de calor de placas.	12.400.000,00	12.400.000,00
1	Tubo retenedor.	2.294.760,00	2.294.760,00
12	Codos de acero inoxidable de 1.5".	86.230,00	1.034.760,00
4	Tuberías rectas de acero inoxidable (6m).	194.500,00	778.000,00
1	Válvula solenoide de tres vías.	1.483.320,00	1.483.320,00
1	Válvula solenoide de dos vías.	838.800,00	838.800,00
7	Válvulas tipo compuerta.	365.000,00	2.555.000,00
3	Medidores de caudal tipo turbina.	544.000,00	1.632.000,00
2	Termocuplas	24.000,00	48.000,00
2	Manómetros.	40.000,00	80.000,00
		<b>SUB TOTAL=</b>	<b>28.924.640,00</b>
<b>Gastos imprevistos y Montaje (5%).</b>		<b>0,05</b>	<b>1.446.232,00</b>
		<b>TOTAL=</b>	<b>33.697.205,60</b>

De esta manera el precio del equipo pasteurizador es de Bs. 33 697 205 , este precio puede variar ya que muchas piezas son cotizadas en dolares, a este valor hay que agregarle el impuesto de ley donde sea necesario.

Los equipos de pasteurización distribuidos en el mercado local tienen un caudal mínimo de operación de 5000 lts/h y su precio oscila entre los 47.500.000 y 60.000.000 B<sup>s</sup> (sin incluir impuesto).



Aunque las características técnicas del equipo pasteurizador producto del estudio y los distribuidos en el mercado local no son iguales, podemos establecer una comparación desde el punto de vista de los costos, notando que el valor del equipo diseñado es cuando menos 30% menor que cualquiera que podamos adquirir en el mercado.

## ***MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO***

---

## **11. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

### **INFORMACIÓN GENERAL**

El sistema pasteurizador consta de:

- Intercambiador de placas
- Tubo de retención.
- Tanque de balanceo.
- Equipo de instrumentación y control (STRL).
- Bomba sanitaria de alimentación
- Medidores de temperatura, caudal y presión
- Sistema de tuberías, válvulas manuales tipo compuerta, válvula tres vías tipo solenoide de accionamiento automático y válvula tipo solenoide de accionamiento automático.

Adicionalmente el sistema de calentamiento esta formado por los siguientes componentes.

- Calentador a gas.
- Tanque de agua.
- Bomba sanitaria.
- Sistema de tuberías y válvulas manuales de tipo compuerta.

El componente mas importante del sistema pasteurizador es un intercambiador de calor de placas, en este equipo se logra la temperatura de pasteurización (72°C), pasando luego al tubo de retención en el cual permanece el jugo por un tiempo de 15 segundos a la temperatura de 72°C logrando de esta forma su pasteurización. Luego de completado este proceso, el jugo pasteurizado será conducido a una zona de recuperación calórica y luego a la tubería que conduce a la maquina de llenado.

Como ya se menciona, el componente principal del sistema pasteurizador es el intercambiador de calor de placas, debido a esto se procede a realizar un estudio completo de este equipo.

### Descripción del intercambiador de calor de placas.

El intercambiador de calor de placas consiste en una serie de placas corrugadas en un marco bastidor. El marco bastidor consta de un cabezal móvil y uno fijo, una barra de soporte superior e inferior, un par de columnas de soporte y de varios pernos y tuercas que permiten armar el arreglo de placas para formar el equipo de transferencia de calor ( figura 11.1 ).

El intercambiador de calor de placas requiere una pequeña fracción del espacio que ocuparía un intercambiador de concha y tubo, diseñado para las mismas necesidades.

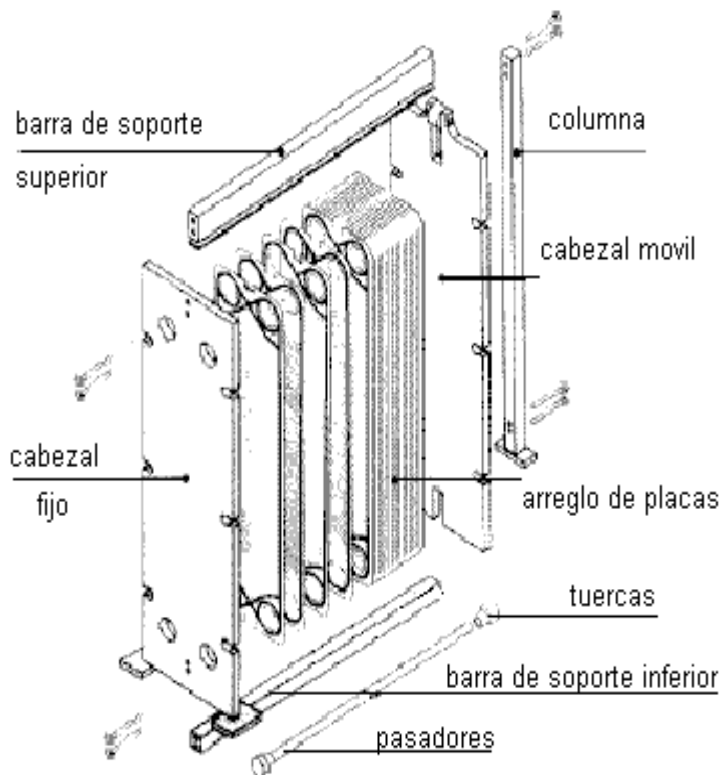


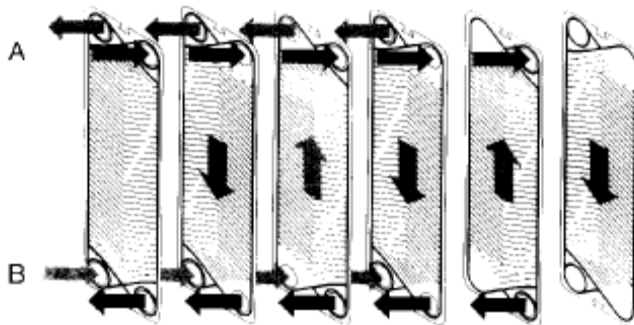
Diagrama del intercambiador de calor

Las placas son fabricadas con medidas estándar y en una gran variedad de materiales y corrugados, para distintas aplicaciones. El canal de circulación dentro del arreglo de placas es forzado por las mismas placas y una serie de juntas colocadas entre ellas. Las juntas son fabricadas en elastómeros de diversos tipos, siendo las mas comunes el Viton, Neopreno y el Nitrilo.

Figura 11.1

## 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 dirección contra flujo, en canales contiguos del intercambiador.



Dirección de flujo

Figura 11.2

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 circula por los canales pares (2, 4, 6 ...).

Las juntas forman el canal de flujo, evita las fugas y direcciona los fluidos caliente y frío. Estas son diseñadas y colocadas de forma tal que los fluidos nunca se mezclan, 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.

## Descripción de las placas.

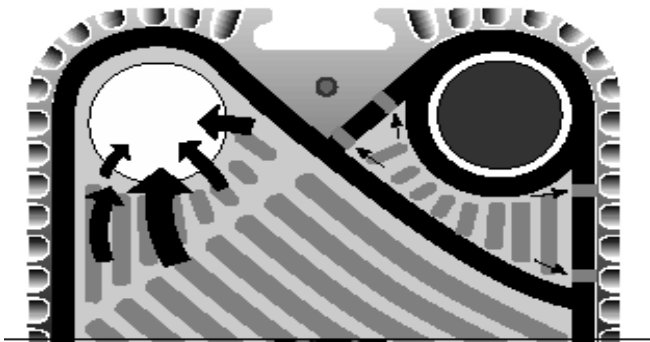
Las placas son diseñadas con diferentes tipos de corrugado para distintas aplicaciones para alcanzar una alta eficacia en la transferencia de calor y menores caídas de presión.

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 las placas, además de inducir la turbulencia en el fluido para aumentar la transferencia de calor.

Las placas se fabrican en los mas diversos materiales, siendo los mas utilizados: acero inoxidable 304, acero inoxidable 316, titanio y hastelloy C276.

**Descripción de las juntas.**

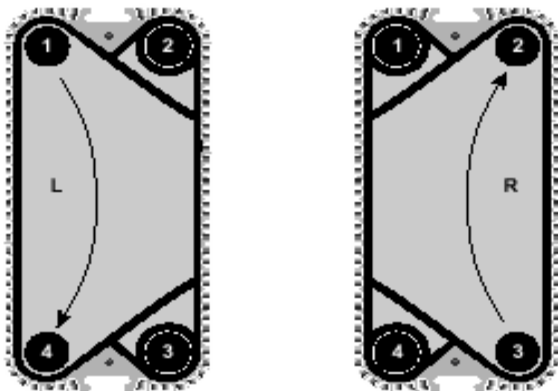


Juntas

Figura 11.3

Las juntas son fabricadas utilizando varios 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 diseño de la junta se hace de forma tal que los fluidos estén confinados en áreas separadas, con un área intermedia con puntos de drenaje al ambiente, de manera tal que los fluidos no se mezclan y si ocurriese alguna fuga esta sería al ambiente. Las juntas son fijadas a las placas utilizando pegamentos que deben ser igualmente compatibles con el fluido.



Ubicación de las juntas

Figura 11.4

### **Montaje y Desmontaje del Intercambiador de Calor de Placas.**

- Comprobar antes de abrir el intercambiador de calor que las válvulas V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub> y V<sub>9</sub> estén cerradas( ver figura 9).
- No abrir hasta que la temperatura del equipo sea igual a la atmosférica.
- Aflojar las tuercas de los pasadores. El cabezal móvil puede ser corrido completamente hacia atrás dejando de esta manera expuestas el arreglo de placas.
- En caso de ser necesario, las placas deben ser removidas de una en una.
- Enumere las placas antes de ser sacadas del intercambiador.
- Alzar e inclinar las placas, una por una, sacándolas cuidadosamente del bastidor.
- El desensamblado del arreglo de placas se debe realizar con mucha precaución, cuidando que las placas no se golpeen ya que se doblan con facilidad, causándole daños irreparables.
- Comprobar antes del reensamblaje, que todos las placas y las juntas estén perfectamente limpias y libres de partículas sólidas.
- Colocar nuevamente 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 esta en correcto orden, cierre y ajuste el equipo.

### **ADVERTENCIA**

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

### **Procedimiento de ajuste del intercambiador de calor.**

- Presionar el cabezal móvil para compactar el arreglo de placas con el cabezal fijo.
- Colocar los pasadores con las tuercas en su posición.
- Apretar los pasadores , empezando por los centrales alternando luego en forma cruzada, con un torque de 10 N x m.
- Repetir el procedimiento anterior con un torque de 20 N x m.
- Volver a realizar el procedimiento anterior con el torque de funcionamiento del intercambiador , el cual es de 30 N x m.

### ***ADVERTENCIA***

El torque aplicado a los pasadores debe ser el correcto, de no ser así, el comportamiento del intercambiador de calor no será el mas eficiente.

### **Instalación.**

El sistema pasteurizador será entregado completamente armado y listo para su puesta en servicio, solo debe ser conectado a las tuberías de agua caliente , tuberías de alimentación del jugo y a la que conduce a la maquina de llenado, además de la conexión eléctrica para el sistema de control y la bomba de alimentación del producto a pasteurizar.

### **Puesta en servicio.**

Antes de poner en servicio el sistema pasteurizado se debe realizar una inspección visual, verificando que los pasadores y las tuercas de los mismos, pertenecientes al



intercambiador de calor de placas no estén desajustadas. Luego seguir este procedimiento:

- Encender el calentador de agua.
- Verificar que las válvulas V<sub>2</sub> y V<sub>8</sub> (ver figura 9), se encuentren en su posición de operación.
- Abrir totalmente las válvulas restantes del sistema pasteurizador
- Arrancar la bomba N° 2, cuando la temperatura del agua en el calentador alcance los 90°C.
- Arrancar la bomba N° .1
- Encender el sistema de control.

### **Puesta fuera de servicio.**

Al colocar el equipo fuera de servicio, debe estar en condiciones ideales para regresar a funcionamiento en el menor tiempo posible. Para tal fin se deben seguir los siguientes pasos.

- Apagar el calentador de agua.
- Apagar el sistema de control.
- Detener la bomba N° 1
- Detener la bomba N° 2
- Cerrar las válvulas V<sub>1</sub> y V<sub>6</sub>

### **Limpieza del intercambiador de calor de placas.**

De ocurrir una disminución en la temperatura de pasteurización, se debe al ensuciamiento de las placas. proceda a realizar una limpieza del equipo, siguiendo estas instrucciones:

- Abrir el intercambiador de calor de acuerdo a las instrucciones de desensamblado.
- Separar las placas unas de las otras. Si es posible deje las placas en el marco bastidor. Recordar enumerar las placas en caso de necesitar bajarlas del bastidor.
- Utilizar agua a alta presión 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 intercambiador de calor de placas según las instrucciones.

El intercambiador de calor de placas puede requerir periódicamente una limpieza menor con el equipo armado:

- Drenar ambos fluidos del intercambiador de calor.
- Poner 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.

## MANTENIMIENTO GENERAL

### RUTINARIO:

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

### SEMANAL:

- Realizar limpieza con el sistema pasteurizador, siguiendo los pasos explicados para la limpieza del ICP con el equipo armado.

### MENSUAL:

Realizar mantenimiento menor al ICP.

- Esto implica una limpieza del ICP desarmado.
- Realizar una inspección visual de las placas y juntas , reemplazar las que presenten fallas.

### SEMESTRAL:

Realizar mantenimiento mayor al sistema pasteurizador.

- Limpiar el ICP con el equipo desarmado.
- Desmontar y limpiar el tubo retenedor.
- Mantenimiento de las bombas según el fabricante.
- Recalibrar el sistema de control y los medidores de presión , temperatura y flujo.

- Revisar todas las tuberías del sistema pasteurizador en busca de fugas e incrustaciones.

## **CONCLUSIONES**

### **CONCLUSIONES**

- En la investigación se logra diseñar un sistema de pasteurización industrial para el manejo de bajo caudales, basado en selección de equipos, ajustándose a las especificaciones técnicas exigidas y normas establecidas.
- La inversión inicial del equipo se considera elevada para el bajo caudal de operación, es precisamente debido a esto que las empresas especialistas en el ramo no construyen equipos para estos caudales.
- La comparación tiene como resultado que el equipo es menos costoso en relación a los que se ofrecen en el mercado Nacional, haciendo la salvedad de que los equipos ofertados son para el manejo de caudales considerablemente mayores al caudal de diseño.
- Comparando la relación costo-producción se concluye que el equipo no es ventajoso en relación al sistema de menor capacidad ofertado en el país, debido a que el costo del litro producido por cada hora es de 33000 Bs, en comparación a los 10000 Bs de los equipos distribuidos en el país.

## ***RECOMENDACIONES***

---

## **RECOMENDACIONES**

- Aumentar el caudal de operación, debido a que, el costo del equipo es elevado para operar con un caudal tan bajo.
- Se recomienda el uso de vapor para calentar el agua que sirve como fluido de transferencia de calor. Esto permitiría el uso de vapor para labores de limpieza.
- Para la limpieza (mantenimiento semanal) del equipo ensamblado, se recomienda usar como agente limpiador CITRUCIDAL, compuesto completamente natural hecho a base de semilla de toronja, por consiguiente no produce residuos tóxicos.
- Para el mantenimiento mensual se recomienda el uso de TEGO 51, agente limpiador no tóxico ni abrasivo.
- Seguir las buenas prácticas higiénicas para la elaboración del producto.
- Aplicar las normas de seguridad del personal, respetando el uso de equipos de protección sobre todo al momento de manipular las placas, ya que las mismas pueden causar lesiones de consideración.



## ***BIBLIOGRAFÍA***

---

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. ACEVEDO José y ANTIVEROS Rolando. **“Calculo térmico y recomendaciones para el diseño mecánico de intercambiadores de calor de concha y tubo”** Tesis, 1985. UCV. Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica.
2. BARON, Martha. **“Modelaje, simulación y control de un intercambiador de calor”** Tesis, 1989. UCV. Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica
3. BEREND, CAMPOS, GIBBS. **”Estudio, diseño y construcción de un convector”** Tesis, 1969. UCV. Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica.
4. INCROPERA, Frank. **“Fundamento de transferencia de calor”** Editorial Mc. Graw Hill, New York, 1996.
5. SERRA, Alexander. **“Comportamiento térmico de la cerveza durante la pasteurización”** Tesis, 1994. UCV. Facultad de Ingeniería, Escuela de Química.
6. JAY, James M **“Microbiología moderna de los alimentos”** Editorial Acibia , Zaragoza-España, 1978.
7. CHEFTEL, Jean-Claude **“Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos”**, Editorial Acibia, Zaragoza-España, 1983.
8. FAULK, Jerry d. **“Industrial Instrumentation”**, Delmar Publishers, New York. 1996.

9. HAYES, G. D. **“Manual para ingeniería de los alimentos”** Editorial Acribia, Zaragoza-España 1983.
10. INGERSOLL- RAND. **“ Cameron Hydraulic Data”** Ingersoll –Rand, 1984.
11. SOISSON, Harold. **“Instrumentación Industrial”** Editorial Limusa. Mexico, 1980.
12. SHIGLEY, Joseph. **“Diseño en Ingeniería Mecánica”** McGraw- Hill, México, 1999.
13. BUONOPANE, R.A. **“Heat transfer design for plate heat exchangers”** Chemical engineering progress, pag. 57-61.

***ANEXOS***

---