

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

Facultad de Ingeniería



**Diseño de una instalación para la pasteurización de leche
de cabra proveniente de productores independientes**

Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico.

Por

Autor: Kurt Inglis

Tutor: Dr. C. Juan Francisco Puerta Fernández

Ing. Eneroliza Milián Rodríguez

Cienfuegos, 2013

AGRADECIMIENTOS

A ***Dios Que me fortaleza*** por guiarme durante el transcurso de mis años de estudio en Cuba.

A la ***Revolución Cubana*** y a la ***Universidad de Cienfuegos*** por brindarme todos los medios necesarios para mi formación como Ingeniero Mecánico.

A mi esposa ***Pascalina Nestor Stanislas*** por ser un gran apoyo En tiempos buenos y difíciles y por estar a mi lado durante todos estos años.

A mi hermana ***Shona Inglis*** por su gran ayuda y por siempre estar dispuesto a ayudar en todo tiempo.

A mi tutor ***Dr. C. Juan Francisco Puerta Fernández*** por su apoyo y por estar siempre disponible para brindarme sus valiosos conocimientos.

A mi tutor ***Ing. Eneroliza Milian Rodríguez*** por todo su apoyo y brindarme la oportunidad de ayudar en su maestría

A todos mis amigos, aquí y en Santa Lucia ***Dwain Nestor, Deaver Melius, Dayne Mauril, Alric Desir.***

DEDICATORIA

*Este trabajo y mi tiempo aquí en Cuba no habrían sido posibles sin el soporte y oraciones de mi familia cariñosa a quien dedico esta tesis. A mi padre **Francis Conrad Inglis** y mi madre **Cathrine In Baptiste**.*

RESUMEN

En el presente trabajo, se analizan propuestas de un sistema de pasteurización de leche de cabra, para satisfacer las necesidades de los productores independientes de la provincia de Cienfuegos, Cuba. Para este propósito fueron analizadas tres propuestas. Una propuesta de un sistema de pasteurización por calentamiento con resistencias eléctricas, un sistema de pasteurización por circulación de agua caliente calentado por energía solar térmica y un sistema de pasteurización por circulación de agua caliente calentado por un quemador de biogás. En el capítulo I se ofrecen información detallado sobre los tratamientos de pasteurización y los sistemas de pasteurización existentes. En el capítulo II fue realizado el diseño termo-mecánico de los componentes del sistema y la selección de los portadores de energía. Y en el capítulo III, los tres sistemas fueron evaluados en cuanto a consumo de energía, impacto ambiental por emisiones de CO₂ y una estimación del costo del sistema. Los resultados de estas evaluaciones fueron utilizados como base de selección.

Palabras claves:

Pasteurización.

Leche de cabra.

Energía renovable.

Energía solar térmica.

Biogás.

ABSTRACT

In the present work, proposals of a system of pasteurization of goat milk are analyzed, in order to satisfy the needs of the independent producers of the province of Cienfuegos Cuba. For this purpose it was analyzed three proposals. A proposal of a system of pasteurization by heating with electrical resistances, a system of pasteurization by circulation of hot water heated by thermic solar energy and a system of pasteurization by circulation of hot water heated by a burner of biogas. Chapter I offers detailed information on the treatments of pasteurization and the existing systems of pasteurization. In the chapter II was realized the thermo-mechanical design of the components of the system and the selection of the energy sources. And in chapter there III, to these three systems was applied evaluations of energy consumption, environmental impact by emissions of CO₂ and an evaluation of the cost of the system. The results of these evaluations were used as base of selection.

Key Words:

Pasteurization.

Goat milk.

Renewable energy.

Solar thermic energy.

Biogas.

TABLA DE CONTENIDO		Pág.
RESUMEN	_____	iii
ABSTRACT	_____	iv
Introducción	_____	1
Capitulo 1: Marco Teorico	_____	5
1.1	Historia de Pasteurización _____	5
1.2	Pasteurización _____	5
1.2.1	Tratamientos Térmicos _____	6
1.2.2	Selección del Tratamiento _____	8
1.3	Sistemas de Pasteurización _____	10
1.3.1	Sistemas Discontinuos _____	10
1.3.2	Sistemas Continuos _____	12
1.3.3	Otros sistemas _____	13
1.3.4	Componentes Secundarias: _____	15
1.4	Diseño termo mecánico de los pasteurizadores _____	16
1.4.1	Cálculo de los dimensiones del tanque: _____	17
1.4.2	Cálculo del agitador mecánico: _____	18
1.4.3	Cálculo del Serpentín: _____	22
1.5	Consumo energético de la pasteurización de leche _____	24
Capitulo 2: Diseño del sistema de pasteurización	_____	26
2.1	Diseño Preliminar de los componentes _____	26
2.1.1	Diseño del tanque _____	26
2.1.2	Diseño del agitador _____	27
2.2	Sistema Base de pasteurización (Calentamiento eléctrico). _____	29

2.2.1	Energía necesaria para calentar la leche _____	30
2.2.2	Tiempo total del proceso. _____	33
2.2.3	Sistema de refrigeración de la leche _____	34
2.3	Sistema con calentamiento solar _____	35
2.3.1	Cálculo del área de captación $A_{(cap)}$. _____	36
2.3.2	Cálculo de número de calentadores solares. _____	37
2.3.3	Cálculo de las características del serpentín de calentamiento (Robert H. Perry, 2001). _____	38
2.4	Sistema de Calentamiento con Biogás _____	44
2.4.1	Selección del calentador de agua. _____	45
Capitulo 3: Evaluacion de los sistemas _____		47
3.1	Evaluación Energética _____	47
3.2	Evaluación ambiental _____	49
3.3	Evaluación Económica _____	51
3.4	Evaluación Comparativa _____	53
3.5	Indicadores de los sistemas de pasteurización _____	53
Conclusiones Generales _____		56
Recomendaciones _____		58
Referencias Bibliográficas. _____		60
Anexos. _____		63

INTRODUCCIÓN

La industria láctea de la provincia de Cienfuegos se concentra en la empresa Combinado Lácteo Escambray de Cumanayagua con una producción suportada a partir de la leche de vaca. La producción de leche de vaca y búfalo de la provincia para el periodo Enero-Diciembre 2011 fue aproximadamente 33 084,5 y 128 mil litros respectivamente (*Direcion de Estadistica Agropecuarias, 2012*). En la bibliografía no se publica la cantidad de leche de cabra producida al periodo anteriormente mencionado pero haciendo referencia al periódico Granma, el mejor productor de leche de cabra del país Jorge Alfonso extrajo 51 800 litros en el año 2012. Debido a estas pequeñas cantidades de producción de leche de cabra, la tarea del tratamiento de la leche no está concebida como proceso y los productores no poseen los recursos para realizar este tratamiento, en consecuencia la leche se vende a la población en su forma cruda. La leche cruda puede tener una cantidad de microorganismos patógenos, potencialmente peligrosa y es por la presencia de estas microorganismos que es necesaria someter la lecha a un tratamiento térmico conocido como pasteurización.

La pasteurización es un tratamiento térmico que depende de la temperatura y el tiempo. Su nombre se debe a Luis Pasteur quien demostró que el calentamiento de líquidos, especialmente el vino, a bajas temperaturas como 60°C, mejoró la calidad de conservación durante el almacenamiento. El tratamiento a bajas temperaturas fue suficiente para destruir microorganismos patógenos y mantener las características originales del líquido que recibe el tratamiento. (V.H. Holsinger K.T. Rajkowski J.R. Stabel, 1997)

Los objetivos de la pasteurización son:

- Destruir una parte muy importante de la flora banal.
- Destruir todos los microorganismos patógenos.
- Alterar lo menos posible la estructura física y nutritiva de la leche, su composición, sus diastasas y vitaminas.

El presente estudio abarcará el diseño de un sistema de pasteurización a pequeña escala para la leche de cabra, proveniente de los productores privados de la provincia de Cienfuegos Cuba, que garantice la calidad requerida para el consumo por la población, además de ofrecer la posibilidad que incrementar los volúmenes actuales y dar también otros destinos como es la producción de yogurt y queso a partir de la leche de cabra.

Problema de Investigación

En Cuba no se conoce de un sistema de pasteurización de leche de cabra que técnico - económico y ambientalmente se ajuste a las condiciones de producción de este alimento por los productores independientes.

Hipótesis de la Investigación

Si se concibe un sistema de pasteurización de leche de cabra que se ajuste a las condiciones de los productores privados y al sistema de distribución, puede ofrecerse un producto de mayor calidad para la población.

Objetivo General

Proponer un sistema de pasteurización de leche a pequeña escala que mejor se adecue las condiciones requeridas y los volúmenes disponibles en Cienfuegos.

Objetivos específicos

1. Explorar en la bibliografía la existencia de sistemas de pasteurización a pequeña escala que puedan adecuarse a las condiciones de producción de leche de cabra, su conservación y comercialización en Cienfuegos.

2. Diseñar, mecánico y térmicamente un pasteurizador de leche ajustado a las condiciones y capacidades de producción en Cienfuegos.
3. Seleccionar otros componentes para el sistema de pasteurización y conservación de la leche.
4. Determinar los principales indicadores de consumo de energía de las diferentes alternativas de sistemas de pasteurización que se estudien.
5. Evaluar la conveniencia técnico-económica del empleo de otras fuentes de energía en el sistema de pasteurización y conservación de la leche.

Beneficios esperados

1. Un sistema para la pasteurización de la leche en las condiciones de los productores de Cienfuegos adaptado a las condiciones locales y técnico-económicamente más ventajosas.
2. Los principales indicadores de consumo de energía de las diferentes alternativas estudiadas.

Límites del alcance de la investigación

1. La propuesta no incluye la construcción y montaje de la instalación.

CAPITULO I

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

El presente capítulo aborda los resultados del estudio general de la pasteurización. Está conformado por una breve historia de cómo surge este proceso, los tipos de pasteurización que existe y la elección de uno en vez de otro y por final, los tipos de sistemas encontrados en el estudio que existen para realizar este proceso.

1.1 Historia de Pasteurización



Figura 1.1. Científico Luis Pasteur (Microsoft Student 2009, 2008).

Luis Pasteur (1822-1895), químico y biólogo francés, fundó la ciencia de la microbiología, demostró la teoría de los gérmenes como causantes de enfermedades (patógenos).

Pasteur en 1866-1876, en un estudio sobre el vino, demostró que sin superar los 60°C durante un tiempo determinado, conseguía un grado de higienización adecuado para alimentos (*Dr Perez, 2010*).

La primera aplicación de pasteurización de leche se hizo por Soxhlet, quien pasteurizó leche embotellada para niños. En 1888 Gerber y Wieske pasteurizaron leche embotellada a 65°C por 1 hora. El primer pasteurizador comercializado fue hecho en Alemania en 1882; En medio de los 1880 la pasteurización en una escala comercial rápidamente se hizo costumbre en Dinamarca y Suecia (*V.H. Holsinger K.T. Rajkowski J.R. Stabel, 1997*).

1.2 Pasteurización

Es el proceso de calentamiento de cada partícula de leche o producto lácteo en un equipo adecuadamente diseñado y operado, a una de las temperaturas indicadas en la siguiente tabla y mantenida de manera continua a dicha

temperatura o por encima de la misma durante al menos el tiempo correspondiente especificado (*Food and Drug Administration (FDA)* , 2011). En el caso de la leche, la pasteurización se hace con el objetivo de lograr una esterilización parcial, eliminando microorganismos patógenos como el bacilo de Koch (tuberculosis), Salmonella Typhi y Paratyphi (tifus), Brucillamelitensis (fiebre de Malta), Streptococcus y Staphylococcus (de la mamitis) pero manteniendo las características de la leche. La temperatura y el tiempo de pasteurización depende de:

- Tipo de líquido: leche, vino, agua, etc.
- Tipo de pasteurización: Bajo temperatura, Largo tiempo (LTLT); Alta temperatura, Corto tiempo (HTST); Ultra Pasteurización, Tratamiento de temperatura ultra elevada (UHT); Esterilización.

Tabla 1.1. Temperatura y tiempo de tratamientos (Food and Drug Administration (FDA), 2011))

Temperatura	Tiempo
*63°C (145°F)	30 minutos
*72°C (161°F)	15 segundos
89°C (191°F)	1 segundos
90°C (194°F)	0,5 segundos
94°C (201°F)	0,1 segundos
96°C (204°F)	0,05 segundos
100°C (212°F)	0,01 segundos

1.2.1 Tratamientos Térmicos

La leche se trata térmicamente con el fin primordial de destruir los microorganismos patógenos que pudieran estar contenidos en la misma; un fin secundario es la destrucción de tantos organismos como sea posible además de los sistemas enzimáticos, con objeto de salvaguardar la calidad del producto (Izquierdo, 2010). Los tratamientos que se practican son los siguientes.

Pasteurización LTLT

Este método se denomina método discontinuo o método de baja temperatura, largo tiempo (Low temperature, long time). La leche se calienta a 63°C y se mantiene a dicha temperatura durante 30 minutos.

Pasteurización HTST

Proceso continuo a alta temperatura, corto tiempo (high temperature, short time).

Se calienta la leche hasta 72-75°C y se mantiene a la misma temperatura durante 15-20 segundos antes de proceder a su enfriamiento a 4°C o temperatura inferior.

Ultra pasteurización

Se utiliza cuando se quiere conseguir una determinada vida útil. La base de la prolongación de la vida útil es calentar la leche a 125-138°C y mantenerla durante 2-4 segundos y enfriarla posteriormente a menos de 7°C.

El principio fundamental es reducir las principales causas de reinfeción del producto durante el procesado y el envasado con el fin de extender la vida útil. Esto requiere niveles extremadamente altos de higiene en la producción y una temperatura de distribución y venta por debajo de 7°C. Cuanto más baja mayor será la vida útil.

Tratamiento UHT

Tratamiento de temperatura ultra elevada (ultra high temperature), indicado para la conservación de productos alimenticios líquidos, por exposición de los mismos a un breve pero intenso calentamiento, con temperaturas que oscilan entre los 135 y 140°C. No necesita ser refrigerado por debajo de los 10°C antes de su consumo. Es un proceso continuo que se desarrolla en un sistema cerrado, que impide que el producto se contamine por microorganismos presentes en el ambiente. El producto pasa por etapas de calentamiento y enfriamiento sucesivamente. Una parte esencial del proceso es el envasado aséptico, que elimina una gran parte de los riesgos de reinfeción.

Se utilizan dos métodos alternativos de tratamiento UHT:

- Calentamiento indirecto y enfriamiento en intercambiadores de calor.
- Calentamiento directo por medio de inyección de vapor o infusión de leche en vapor y enfriamiento por expansión bajo vacío.

Esterilización

Esterilización en el envase, normalmente a 115-120°C durante unos 30 minutos. La leche se envasa en recipientes limpios (botella de vidrio o plástico), después de haber sido normalizada en su contenido en grasas, homogeneizada y calentada a unos 80°C. El producto envasado, aún caliente se transfiere a las autoclaves discontinuas o a una torre hidrostática de funcionamiento continuo.

1.2.2 Selección del Tratamiento

Se basa en la aplicación del tratamiento térmico más benigno que garantice la seguridad de los alimentos (libres de patógenos y toxinas) y que extienda su vida de almacenamiento.

En la selección del tratamiento térmico hay que hacer las siguientes consideraciones.

- Combinación de tiempo-temperatura requerido para la inactivación de la mayoría de los patógenos resistentes al calor y descomposición de un alimento particular.
- Características de la penetración de calor en un alimento particular, incluyendo a la lata o contenedor de elección si será empacado.

La selección del tratamiento debe ser optimizada para conseguir un efecto adecuado tanto desde el punto de vista microbiológico como desde el punto de vista de la calidad. En la tabla 1.2 se demuestra las ventajas y desventajas de cada tratamiento con el fin de ayudar en la elección de uno.

Tabla 1.2. Ventajas y desventajas de tratamientos de leche (Izquierdo, 2010).

TRATAMIENTOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Pasteurización LTLT	-Leche de alta calidad.	<ul style="list-style-type: none"> -Necesidad energética mayor que el HTST por tener que mantener la temperatura de la leche a 63°C durante 30 minutos. -La leche debe estar refrigerada igual o por debajo de los 4°C hasta su consumo. No puede romperse la cadena de frío. -Se necesita una empaquetadora. -El prolongado tiempo de mantenimiento hace necesario un tanque de almacenamiento con dosificador a la salida de la leche.
Pasteurización HTST	<ul style="list-style-type: none"> -El de menor necesidad energética en comparación con los demás tratamientos térmicos. -Tiempo de mantenimiento corto. -Leche de alta calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> -La leche debe estar refrigerada igual o por debajo de los 4°C hasta su consumo. No puede romperse la cadena de frío. -Se necesita una empaquetadora.
Ultrapasteurización	<ul style="list-style-type: none"> -Una vez empaquetada, la leche puede durar hasta 4 meses. Hasta ser abierto el envase puede estar sin refrigerar. -El tratamiento térmico es muy rápido. -Leche de alta calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los sistemas para conseguir vapor (calderín o bomba de vacío), hace que la instalación se encarezca mucho más, y están indicados para tratar a partir de 5000litros de leche. -Enfriar por debajo de 7°C, después del tratamiento, en la distribución y la venta. -Se necesita una máquina de llenado aséptico. -Es necesario esterilizar la planta antes de empezar el tratamiento.
Tratamiento UHT	<ul style="list-style-type: none"> -Una vez empaquetada, la leche puede durar hasta 4 meses. Hasta ser abierto el envase puede estar sin refrigerar. -El tratamiento térmico es muy rápido. -Leche de alta calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los sistemas para conseguir vapor (calderín o bomba de vacío), hace que la instalación se encarezca mucho más, y están indicados para tratar a partir de 5000litros de leche. -Se necesita una máquina de llenado aséptico. -Es necesario esterilizar la planta antes de empezar el tratamiento.
Esterilización	<ul style="list-style-type: none"> -Una vez embotellada, la leche puede durar hasta 4 meses. Hasta ser abierta la botella puede estar sin refrigerar. 	<ul style="list-style-type: none"> -Envasado aséptico. -Envases resistentes al calor. -Leche con sabor a caramelo y aspecto parduzco. -Largo tiempo de mantenimiento. -Equipo hermético, indicado para cantidades menores de 500 litros de leche. -Se necesita una embotelladora.

1.3 Sistemas de Pasteurización

Los sistemas de pasteurización consisten en tres etapas fundamentales como ilustrado en la figura 1.2



Figura 1.2. Etapas de la Pasteurización [fuente: elaboración propia].

Estas etapas se pueden realizar en el mismo equipo o en distintos equipos. Existen dos tipos de sistemas pasteurización: (MSc Jose Mauricio, 2009)

1. Sistemas discontinuos en lo cual la leche esta calentado o enfriado en lotes individuales en uno, dos, o a veces tres tanques. Este sistema de pasteurización pude ser artesanal o en tandas o “Batch”. Este tipo de planta es adecuado por cantidades hasta 1000 L/h.
2. Sistemas continuos, donde la leche se trata en un flujo continuo a una temperatura mayor que el sistema y por menor tiempo que el sistema 1. Este tipo de planta es adecuado por capacidades desde 230 L/h y arriba.

Existen otros tipos de sistemas que son derivadas de los dos sistemas principales y que utilizan fuentes no convencionales de energía como la energía solar y biogás pero toda la información disponible de estos tipos de sistemas refieren a pruebas de piloto o prototipos (MSc Jose Mauricio, 2009).

1.3.1 Sistemas Discontinuos

Pasteurización en “Batch”

La planta “Batch”, como mostrado en la Figura 1.3 está basada en el principio un recipiente con chaqueta en la cual la leche esta calentada,

retenida por el tiempo necesario y parcialmente enfriado. En el espacio entre el recipiente interior y la chaqueta exterior, se introduce agua caliente (atreves de un serpentín que rodea el recipiente interior) a una temperatura suficientemente alta para calentar la leche. Como alternativa se puede utilizar vapor caliente de la misma manera que se aplica el agua o una resistencia eléctrica. La leche, siendo calentada a la temperatura requerida (ej. 63°C), se mantiene a esa temperatura por el tiempo necesario (ej. 30 minutos), con el uso de un agitador mecánico. Se puede enfriar con agua fría rociado sobre la superficie exterior del recipiente interior. De esa manera es imposible bajar la temperatura hasta el punto de estabilidad bacteriológico (4°-5°C), entonces la leche se bombea a otro recipiente para enfriarlo.

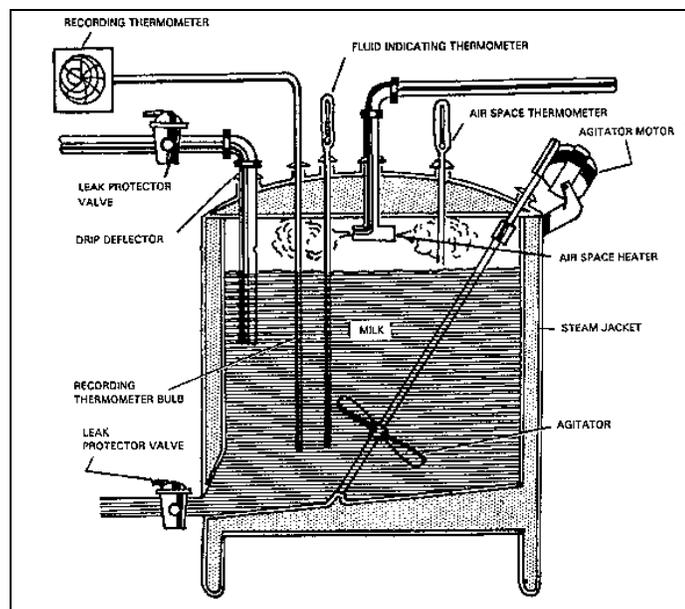


Figura 1.3: Planta de pasteurización "Batch"

La leche es usualmente cargada a través de la cubierta, y descargada a través de la base. Pero en algunos modelos anteriores se carga y descarga de la misma conexión. Lo anteriormente mencionado es peligroso porque puede provocar contaminación en el producto final, entonces debe ser esquivada a todo costo.

La ventaja principal de una planta de pasteurización en “Bach” es su bajo costo inicial y es adecuado para manejar cantidades de leche hasta 1000 L/d (220 galones por día). Por encima de esta cantidad, su operación resulta ser poco lucrativo, especialmente en el caso donde 2 o a veces 3 tanques tiene que ser utilizados. EL tiempo total del proceso es largo. Pocas veces esta menos de 45 minutos y el tiempo para el enfriamiento es usualmente incluso más largo.

La desventaja principal es que su operación es usualmente manual con la posibilidad de error humano.

1.3.2 Sistemas Continuos

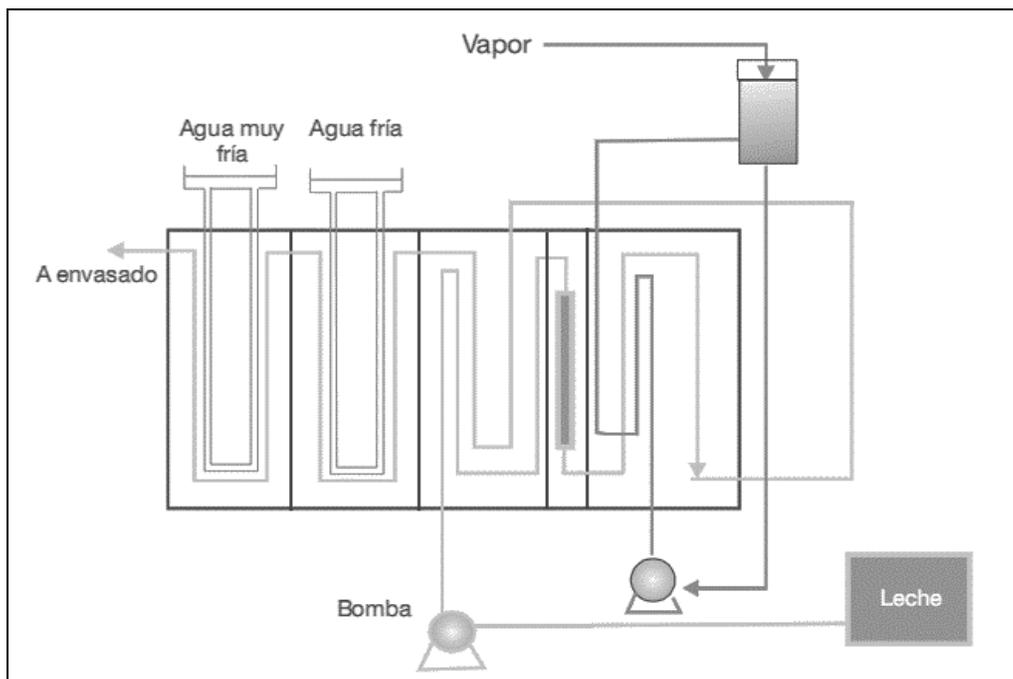


Figura 1.4. intercambiador indirecto de placas (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL), 2002).

Este sistema es el más común en la industria láctea. Es llamado sistema HTST dado que, la técnica de pasteurización que se emplea en estos sistemas es la de Alta temperatura (HT), corto tiempo (ST), por sus siglas en inglés HTST (High Temperature, Short Time), donde se aplica alta temperatura (72 a 78°C) durante 15 a 20 s. El calentamiento es indirecto y se realiza a través de superficies de

intercambio de calor de placa, tubulares o en combinaciones de estos. El flujo de leche se realiza por bombas sanitarias como ilustrado en la Figura 1.4. Este sistema de calentamiento tiene la ventaja de una elevada recuperación de calor (80-90%)

Los sistemas continuos tienen las siguientes ventajas sobre otros sistemas.

- Bajo costo inicial.
- Fácil limpieza: El proceso de limpieza es semiautomático, consistiendo en la circulación de detergentes por los intercambiadores y tuberías.
- Es más económico en el uso de espacio: La mayoría de sistemas HTST tienen la capacidad de pasteurizar 10 000 L/h (2 200 galones por hora) de leche en un espacio de 4.5 m².
- Corto tiempo del proceso: Como fue mencionado anteriormente, los sistemas discontinuos toman por lo menos 45 minutos hasta que la leche puede ser enfriado y distribuido, pero con los sistemas continuos se puede obtener leche pasteurizada y listo para distribuir en menos que 3 minutos.
- Es más flexible de otros sistemas: flexibilidad en este caso significa su habilidad de aumentar a disminuir su capacidad de salida horario.
- Bajo costo de operación: como es un sistema semiautomático el costo de mano de obra es mínimo.

1.3.3 Otros sistemas

Sistema de pasteurización solar

Los sistemas de pasteurización solar son variados del sistema HTST donde se utiliza colectores solares para producir agua caliente que circula a través de un intercambiador de calor de placas. La Figura 1.5 muestra un prototipo de la Universidad de Aalborg, Dinamarca.

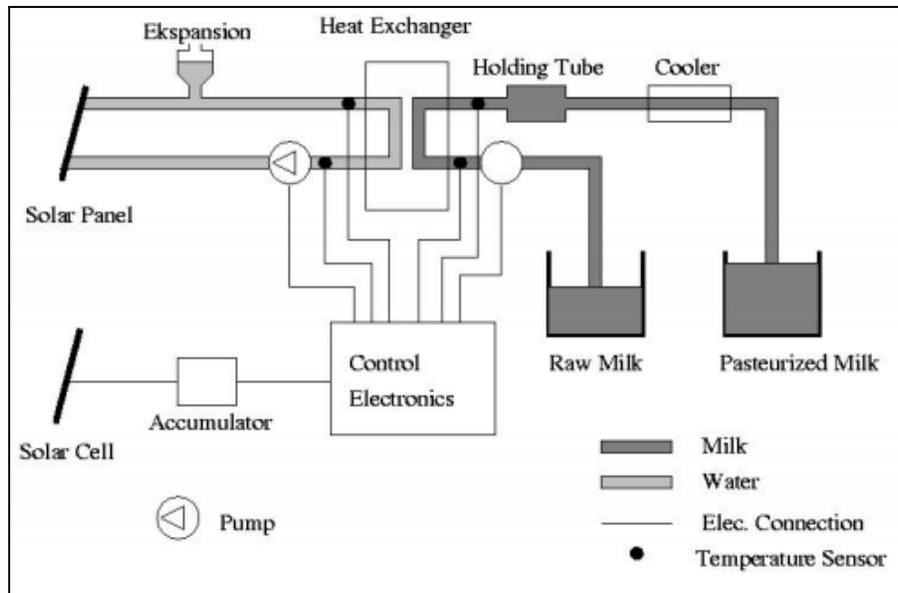


Figura 1.5. Sistema de pasteurización con energía solar (Kersten Molgaard Nielson, 2001).

El sistema consiste en una ruta de agua y una ruta de leche. En la ruta de agua la energía está transferida del colector solar al agua. Una bomba colocada a la entrada del colector circula el agua a través del colector solar y el intercambiador. Debido a la posibilidad de altas presiones se coloca un tubo de expansión en la ruta de agua. En la ruta de leche se coloca una bomba, el intercambiador y un tubo de retención. Para reducir el riesgo de sobrepasteurización se coloca una sistema de enfriamiento después del tubo de retención (Kersten Molgaard Nielson, 2001). En el caso de cualquier sistema solar la energía transferida al sistema varía durante el día como depende del ángulo entre el colector y el sol. También las condiciones ambientales tienen una influencia en la cantidad de energía absorbida. Es por esa causa que muchos prototipos que usan energía no convencional utiliza una fuente auxiliar en el caso que las condiciones ambientales no son favorables.

Sistemas de Biogás

Los sistemas de pasteurización encontradas en la bibliografía donde se emplean el uso de bigas, lo utilizaron como sistemas auxiliares a las sistemas solares. Una vez que el sistema solar no puede aportar toda la energía necesaria para

lograr la pasteurización de leche, en condiciones ambientales no favorable por ejemplo, el sistema de biogás aporta la energía que falta para lograr la pasteurización. Es necesario hacer notar que no fue encontrado en publicación alguna el funcionamiento ni los componentes de los sistemas de biogás utilizados en la pasteurización. En la figura 1.6 se muestra un sistema solar donde está señalado un sistema de biogás como fuente auxiliar.

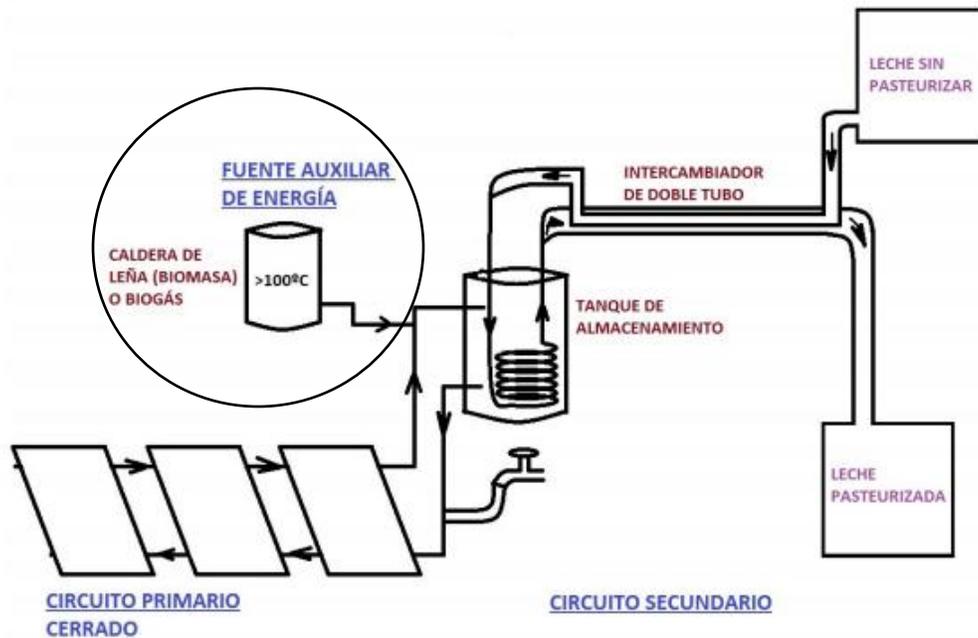


Figura 1.6. Sistema solar con sistema auxiliar de biogás (Izquierdo, 2010)

1.3.4 Componentes Secundarias:

Enfriamiento de la leche

La leche recién pasteurizada debe ser enfriada para mantener un estado sanitario. Por el método de la inyección de agua a través de la superficie exterior del tanque o dentro de un serpentín sumergida en el líquido es ineficiente y además no logra bajar la temperatura de la leche a una temperatura lo suficientemente baja para ser bacteriológicamente estable. Por lo tanto debe ser bombeado a un recipiente de refrigeración o a través de un intercambiador de placas como mostrado en la Figura 1.7, donde esta enfriado hasta una temperatura de entre 4 - 5°C.

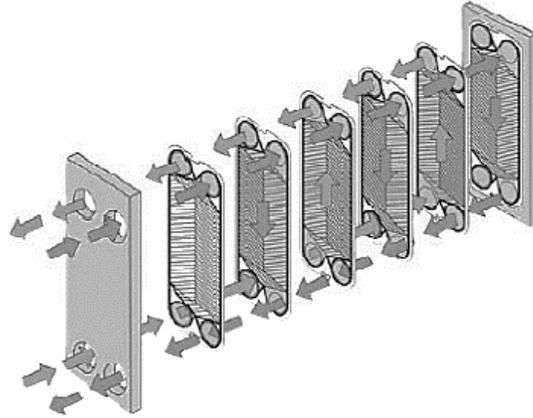


Figura 1.7. Intercambiador de placas (Izquierdo, 2010)

1.4 Diseño termo mecánico de los pasteurizadores

La pasteurización es un tratamiento que requiere ciertas condiciones de trabajo. La eficiencia del proceso depende de gran manera del adecuado diseño de los componentes del sistema.

El recipiente se diseña en base de la Norma ASME Sección VIII, División 1, con parámetros de diseño de acuerdo al funcionamiento del mismo en el proceso. Los accesorios como el serpentín interior de calentamiento y agitador se diseñaron en base al Manual del Ingeniero Químico PERRY-GREEN, Mc Graw Hill, Año 2001.

Cálculo de Presión de diseño para los distintos equipo (Dimencionamiento de equipos, 2007)

$$P \text{ de diseño} = P \text{ de operacion} \times \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B \quad \text{Ec 1.1}$$

Donde A y B son parámetros ajustables por el usuario

En la tabla 1.3 muestra los valores pre determinados de A y B para la presión

Tabla 1.3. Valores de A y B (Dimencionamiento de equipos, 2007)

Presión (Psi)				
	Límite inferior	Límite superior	A	B
Rango 1	0	15	-100	15
Rango 2	15	50	-100	50
Rango 3	50	265	0	25
Rango 4	265	1015	0	50
Rango 5	1015		5	0

1.4.1 Cálculo de los dimensiones del tanque:

El tanque se diseña con respecto al volumen de leche a manejar (en el caso de este trabajo se considera un volumen de 200 L porque la mayor cantidad de leche de cabra ordeñado en la provincia era 150 L/día). El material de construcción es Acero Inoxidable, para garantizar un ambiente sanitario. Debe ser aislado para reducir las pérdidas de calor por radiación y conducción y tapada para reducir las pérdidas por convección (Eubank, 1993).

Cálculo del diámetro del tanque

El diámetro del tanque se determina usando la relación H/D y la geometría

$$D^2 = \frac{V * \pi}{4} * H \tag{Ec 1.2}$$

Donde:

D = Diámetro del recipiente, m

H = Altura del fluido, m

$V = \text{Volumen del tanque, m}^3$

Cálculo de la altura del tanque. (A. Castillo González, 2011)

La altura del tanque se obtiene de la siguiente manera:

$$H_t = H + hd \quad \text{Ec 1.3}$$

Donde:

$H_t = \text{Altura del tanque, m}$

$hd = \text{Altura para la separación de vapor (0.3 m)}$

Cálculo del espesor del tanque. (A. Castillo González, 2011)

El espesor del tanque se determina según la ecuación 1.4

$$t = \frac{P \cdot r}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \quad \text{Ec 1.4}$$

Donde:

$P = \text{Presión de trabajo, Pa}$

$r = \text{Radio interior, m}$

$S = \text{Tensión máxima permisible del material, Pa}$

$E = \text{Eficiencia de la junta} = 0,85$

$t = \text{Espesor de la chapa del tanque, m}$

1.4.2 Cálculo del agitador mecánico:

Para asegurar que cada una de las partículas de la leche se calienta y para mantener la temperatura de la leche dentro de los rangos establecidos, se emplea un agitador mecánico. Los agitadores más eficaces se diseñarán para

empujar el producto hacia abajo y extenderlo a lo largo de la superficie del tanque. Los agitadores habrán de diseñarse para lograr tanto un producto como una temperatura uniforme en la totalidad del recipiente. En la figura 1.8 se puede observar un diseño básico de un tanque con agitación.

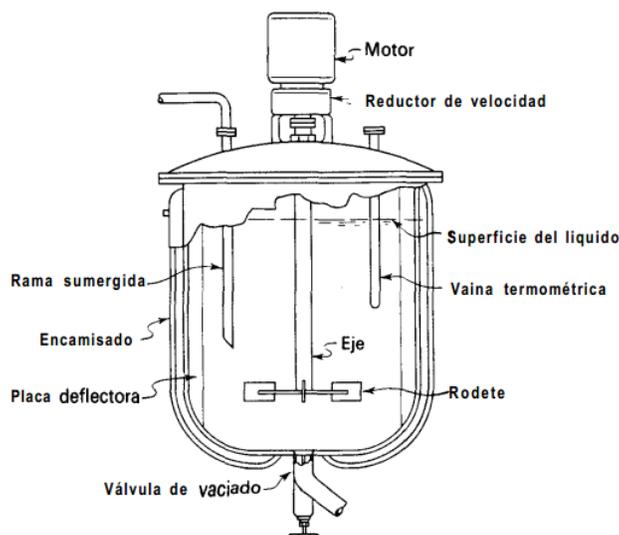


Figura 1.8. Diseño básico de un tanque agitado (González, 2011).

En cuanto al tipo de agitador mecánico, pueden emplearse agitadores de hélice para favorecer el desplazamiento de líquido en la dirección axial, agitadores de paleta plana para conseguir un flujo radial, y agitadores de paletas inclinadas que favorecen a la vez el movimiento radial y axial.

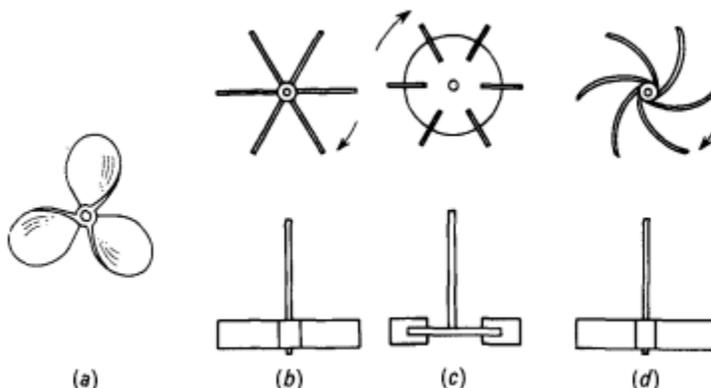


Figura 1.9. Tipos de Agitadores: (a) hélice marina; (b) turbina abierta de palas rectas; (c) turbina de disco con palas; (d) Turbina abierta de palas curvas. (Warren L. McCabe, 1991)

Como punto de partida en el diseño de los agitadores típicos se emplean una serie de proporciones básicas. En la figura 1.10 se muestra un agitador normal, en el cual se indican cada uno de las proporciones que deben de ser calculados en base a la tabla 1.4 donde se muestra estas proporciones.

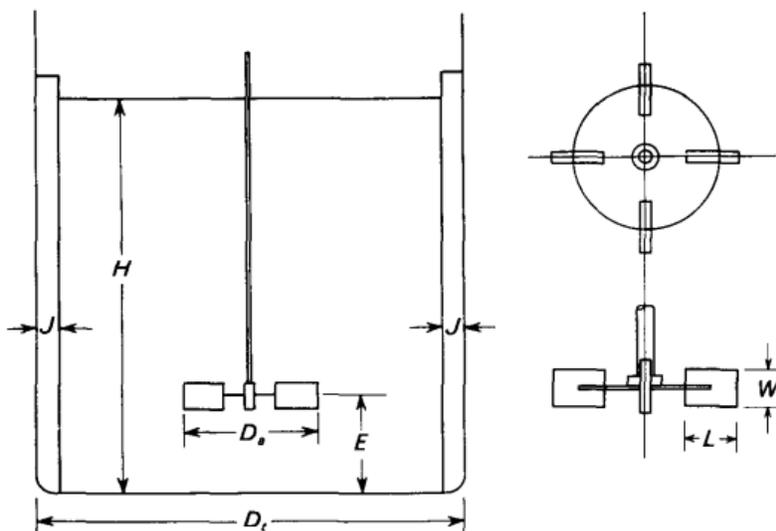


Figura 1.10. Dimensionamiento de un agitador normal (Warren L. McCabe, 1991)

Tabla 1.4. Proporciones básicas en diseño de agitadores (Warren L. McCabe, 1991)

Proporciones Básicas		
$\frac{D_a}{D_t} = 0.3$	$\frac{H}{D_t} = 1$	$\frac{E}{D_a} = 1$
$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$

El consumo de potencia del agitador está relacionado con la densidad del fluido, viscosidad, velocidad de rotación y el diámetro del impulsor. En la Figura 1.11 se demuestra las correlaciones típicas de impulsores en tanques agitados con deflectores (curvas A, B, C) y en tanques sin deflectores (curva D), donde

entrando con el número de Reynolds N_{Re} , se determina el número de potencia N_p . Para el valor de numero de potencia que se obtiene de la curva D, hay que multiplicarlo por el número de Froude, elevado a una incógnita m N_{Fr}^m . (Robert H. Perry, 2001) .

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 * n * \rho}{\mu} \quad \text{Ec 1.5}$$

Donde:

D_a = Diámetro del agitador, m

n = Velocidad del rotatorio, rps

ρ = Densidad del líquido (leche), kg/m^3

μ = Viscosidad del líquido (leche), $\text{kg/m}^*\text{s}$

$$N_{Fr} = \frac{n^2 * D_a}{g} \quad \text{Ec 1.6}$$

Donde:

g = Aceleración por gravedad $9,81 \text{ m/s}^2$

$$m = \frac{a - \log N_{Re}}{b} \quad \text{Ec 1.7}$$

Las constantes a y b son 1,0 y 40,0 respectivamente, según (Warren L. McCabe, 1991)

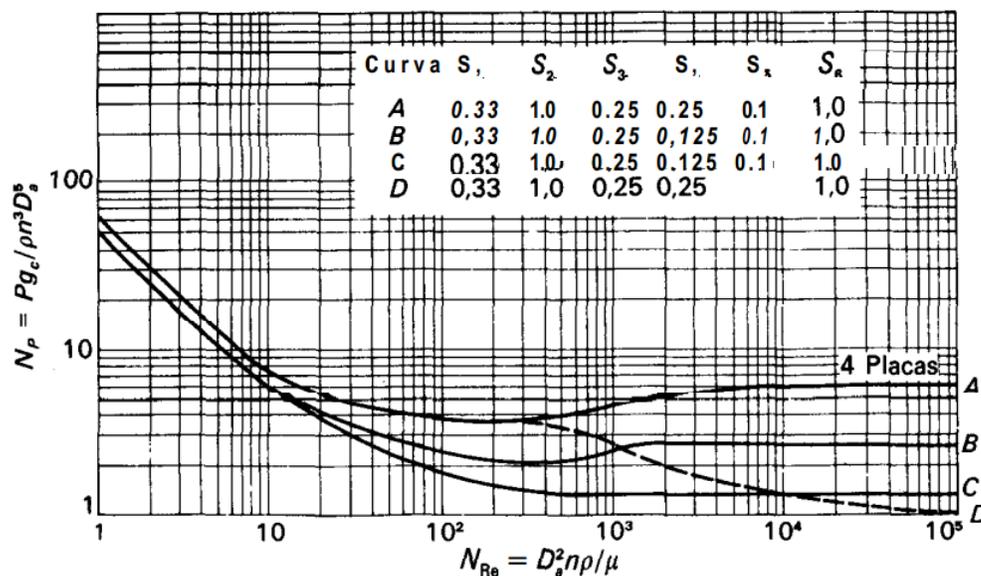


Figura 1.11. Correlaciones de potencia para diferentes impulsores (Robert H. Perry, 2001).

Con el valor corregido del Número de potencia se calcula la potencia (P) según la ecuación 1.8

$$P = \frac{N_p * n^5 * D_a^5 * \rho}{g} \quad [W] \quad \text{Ec 1.8}$$

1.4.3 Cálculo del Serpentin:

El diseño de serpentín se hace en base del anual del Ingeniero Químico PERRY-GREEN, Mc Graw Hill, Año 2001, Séptima Edición, Volumen 2, Capítulo 11 y Volumen 3, Capítulo 18.

El diseño del serpentín depende de la aplicación y la geometría del recipiente. Como los tanques del proceso son cilíndricos, se diseñarán serpentines helicoidales que estarán distribuidos a lo largo de la parte cilíndrica según la altura del líquido.

El diseño termo mecánico de serpentines involucra la determinación del área de transferencia de calor necesaria para mantener el contenido del tanque a una temperatura constante o aumentar o disminuir la temperatura a una magnitud específico en un período de tiempo determinado.

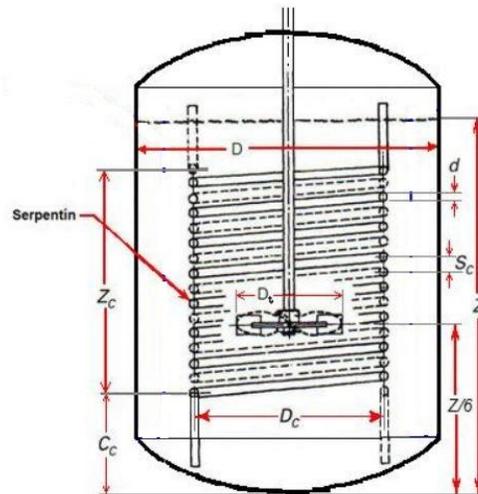


Figura 1.12. Tanque agitado con serpentín

La mayor parte de los serpentines están firmemente sujetos a soportes (pero no soldados). Los soportes deben permitir la expansión pero al mismo tiempo ser lo suficientemente rígidos para evitar movimientos incontrolables, tal como se muestra en la Figura 1.13.

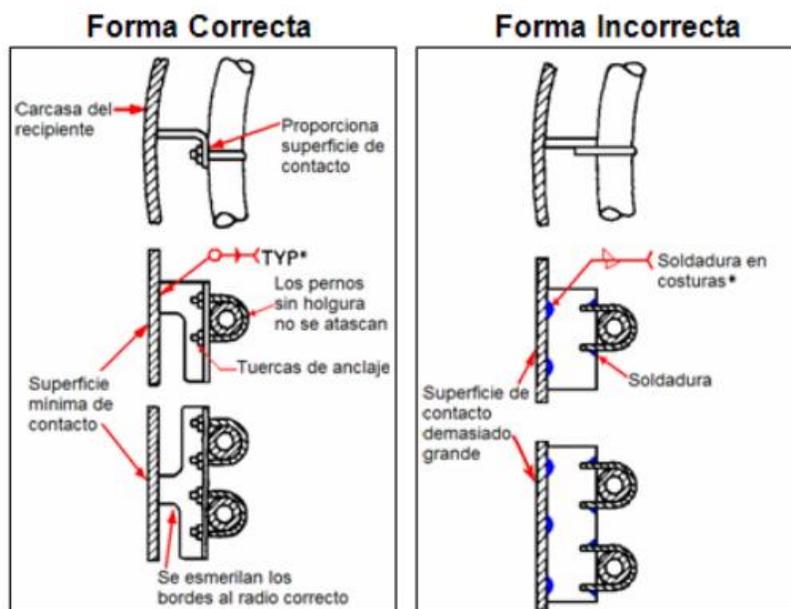


Figura 1.13. Formas correctas e incorrectas para el anclaje de serpentines
(González, 2011)

1.5 Consumo energético de la pasteurización de leche

Lo siguiente es una comparación del costo de la pasteurización con distintos fuentes realizada por el M.Sc. Jose Mauricio quien publicó “EL Manual de Acopio y Pasteurización” para Perú. Los datos de la tabla corresponden con la pasteurización de 387 L de leche

Tabla 1.5: costo comparativo de la pasteurización(MSc Jose Mauricio, 2009)

ENERGÍA	\$ /10,000 BTU	\$ Litro
Eléctrica	0.4103	0.0087
Gas (balón chico)	0.2507	0.0053
Pet No 2	0.2398	0.0051
Coke (Carbón de Piedra)	0.0720	0.0015

La tabla 1.5 muestra el costo de la pasteurización de leche, comparando distintos fuentes. El anterior costeo es válido para zonas de clima frio y zonas trópicas (MSc Jose Mauricio, 2009). Es necesario indicar que el costo no incluye el costo de la conservación de la leche.

Nota: 27 kW-h (92 124 BTU) se requiere para pasteurizar 378 L (100 galones) de leche 0.07142857 kW-h (243.713 BTU)/ L de leche, considerando una eficiencia de 85% (MSc Jose Mauricio, 2009).

CAPITULO II

CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN

El presente capítulo aborda el diseño del sistema de pasteurización y todos sus componentes. Durante el estudio del tema de pasteurización y pasteurizadores de leche, la mayoría de los sistemas sugieren por calentamiento eléctrico o con vapor y algunos prototipos solares con fuentes auxiliares de biogás. Con el objetivo de proponer una solución económica y simple y con un nivel de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía se propone el diseño de tres sistemas:

- i. Un sistema base (Calentamiento por resistencia)
- ii. Un sistema solar térmica
- iii. Un sistema de biogás.

En todos los casos la conservación de la leche va a ser a través de una instalación de refrigeración convencional para disminuir el costo del sistema.

2.1 Diseño Preliminar de los componentes

2.1.1 Diseño del tanque

El sistema va a ser diseñado para manejar un volumen de leche de 200L. Aplicando las ecuaciones 1.2 y 1.3, el diámetro D y altura H_t del tanque resulta:

$$V = 200 \text{ L} = 0.2 \text{ m}^3$$

Tomando $D/H = 1$ según (www.scribd.com/Calculo-de-Tanque-Agitador)

$$D = \sqrt[3]{\frac{V * 4}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{0.2 \text{ m}^3 * 4}{\pi}}$$

$$D = 0.63 \text{ m}$$

$$H_t = 0.93 \text{ m}$$

Aplicando la ecuación 1.1 y tomando presión de trabajo como 1atm = 14.69 psi

P de diseno = 50 psi

Según la información de productos similares se selecciona el acero AISI 316 como material de trabajo. Aplicando la ecuación 1.4

$$t = \frac{P * r}{S * E + 0,4 * P}$$

P = 50 Psi = 3,44x10⁵ Pa

r = 315 mm

E = 0,85

S = 5150 x 10⁵ Pa (Material Acero inoxidable AISI 316)

t = 0.254 mm

En la tabla 2.1 se presenta un resumen de las características del tanque.

Tabla 2.1: Características del tanque

Material	Acero inoxidable AISI 316
Capacidad	200 litros
Diámetro	0.63 m
Altura	0,93 m
Espesor	0,004 m

2.1.2 Diseño del agitador

Se empleara una paleta ya que este agitador tiene un amplio rango de uso. En base del diámetro calculado se dimensionara el agitador según las proporciones de la tabla 1.4.

$$D_a = 0,3 * D_t = 0,3 * 0,63 = 0,19 \text{ m}$$

$$E = D_a = 0,19 \text{ m}$$

$$W = D_a * 0,2 = 0,19 * 0,2 = 0,038 \text{ m}$$

$$L = 0,25 * D_a = 0,25 * 0,19 = 0,048 \text{ m}$$

Cálculo de la potencia del agitador

Se desea mezclar leche de cabra la cual tiene una densidad $\rho=989.19 \text{ kg/m}^3$ (61,67 lb/pie³) y una viscosidad dinámica $\mu = 0.00087 \text{ kg/m*s}$. Asumiendo un velocidad angular $n = 100 \text{ rpm} = 1.67 \text{ rps}$.

Aplicando la ecuación 1.5

$$N_{Re} = \mathbf{68546}$$

Según la figura 1.11

$$N_p = 1,07$$

Aplicando las ecuaciones 1.6 y 1.7

$$N_{Fr} = 0,17$$

$$m = -0,097$$

$$N_p = 1,07 * 0,17^{-0,097} = 1,27$$

Para calcular la potencia se emplea la ecuación 1.7.

$$P = 374.61 \text{ W} = \mathbf{0,5 \text{ HP}}$$

En la tabla 2.2 se resume las características del agitador mecánico.

Tabla 2.2 Características del Agitador

Tipo de agitador	Paletas
Material	Acero inoxidable AISI 316
Motor eléctrico	110 v
Potencia	0,5 Hp
Velocidad	100 rpm
Longitud de paleta	0,19 m
Altura	0,064 m

2.2 Sistema Base de pasteurización (Calentamiento eléctrico).

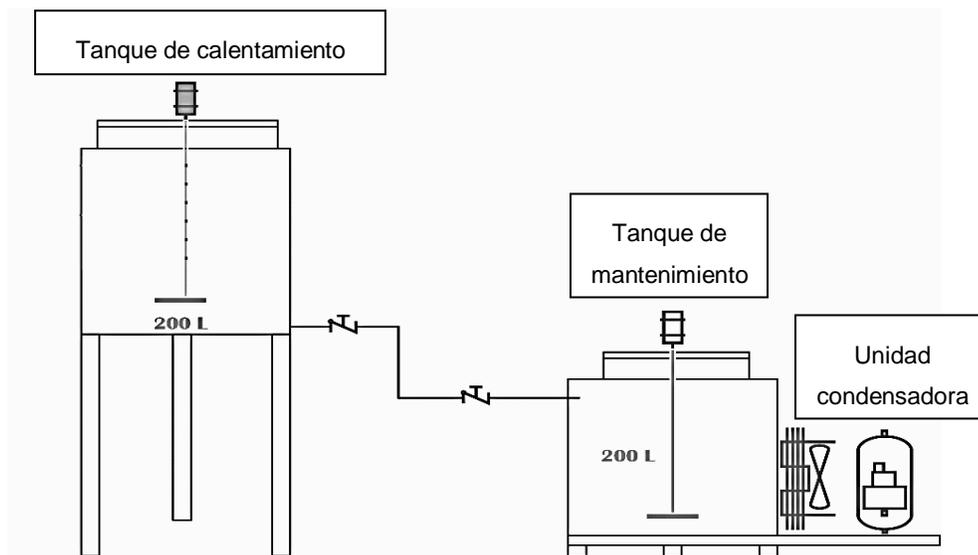


Figura 2.1. Sistema con calentamiento eléctrico [fuente: elaboración propia].

El sistema va a ser diseñado para manejar un volumen de 200 litros de leche de cabra que va a ser calentado de una temperatura de 30°C a 65°C, por un tiempo de 30 minutos.

2.2.1 Energía necesaria para calentar la leche

Para efectuar el cálculo de la energía necesaria para lograr la pasteurización, partiendo de la Ecuación 2.2 (Chromalox Precision Heat and Control, 2001).

$$Q_s = \left(\frac{Q}{t} + \frac{Q_{LS}}{2} \right) (1 + SF) [W] \quad \text{Ec 2.1}$$

Donde:

Q_s - Energía Total [W]

Q - Energía necesaria para elevar temperatura de la leche [J]

Q_{LS} - Pérdida de las superficies [W]

SF - Factor de seguridad=0,2

t - Tiempo de mantenimiento [s]

La energía necesaria para elevar la temperatura de la leche se determina como

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_f - T_i) \quad \text{Ec 2.2}$$

Para realizar los cálculos de energía es necesario determinar las la densidad (ρ_m), el calor específico ($c_{p,m}$), La conductividad térmica (λ_m) y la viscosidad dinámica (μ_m) de la leche a una temperatura media T_m (Tatiana, 2007).

$$T_m = \frac{T_i + T_f}{2} [K] \quad \text{Ec 2.3}$$

$$\rho_m = 741,966 + 1,9613 * T_m - 0,00371211 * T_m^2 \quad [kg/m^3] \quad \text{Ec 2.4}$$

$$c_{p,m} = 2820 + 11,82 * T_m - 0,03502 * T_m^2 + 3,599 \times 10^{-5} * T_m^3 \quad [J/(kg \cdot K)] \quad \text{Ec 2.5}$$

$$\lambda_m = -0,3835 + 0,00525 * T_m - 6,265 * 10^{-6} * T_m^2 \quad [W/(m \cdot K)] \quad \text{Ec 2.6}$$

$$\mu_m = e^{-7,6228 + \frac{2896,814}{T_m}} \quad [cp] \quad \text{Ec 2.7}$$

Para $T_i = 30^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}$ y $T_f = 68^\circ\text{C} = 341,15 \text{ K}$ se obtiene

$$T_m = 320,65 \text{ K}$$

$$\rho_m = 989,19 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p,m} = 4\,195,82 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\lambda_m = 0,65 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$\mu_m = 0,87 \text{ cp} = 0,00087 \text{ kg/m s}$$

Se calcula la masa de leche a calentar. A partir de 200 L y conociendo su densidad 1,020 kg/L, se obtiene 204 kg.

Una vez conocidas todas las variables, se aplica la ecuación 2.2

$$Q = 30557,609 \text{ kJ}$$

Pérdidas de calor.

Para incrementar la eficiencia del proceso es necesario disminuir las pérdidas de calor en el tanque de pasteurización. Estas pérdidas son principalmente por conducción a través de la superficie del tanque.

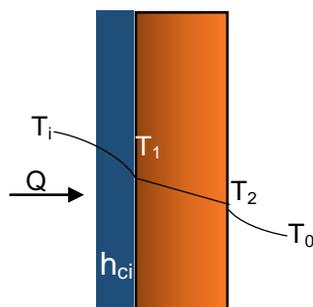


Figura 2.2. Diagrama de la transferencia de calor

$$Q_{Ls} = \frac{T_o - T_i}{R_{lscbe} + R_{acero} + R_{aire}} \quad [W] \quad \text{Ec 2.8}$$

$$R_{lscbe} = \frac{1}{2\pi r_1 L h_{ci}} \quad \text{Ec 2.9}$$

$$R_{acero} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \quad \text{Ec 2.10}$$

$$R_{aire} = \frac{1}{2\pi r_2 L h_{co}} \quad \text{Ec 2.11}$$

Para calcular el coeficiente de convección de la leche se utiliza la ecuación 2.12(Tatiana, 2007)

$$h_c = \frac{\lambda_m}{d_i} \left(\frac{L_p^2 * n * \rho_m}{\mu_m} \right)^{0,62} \left(\frac{c_{p,m} * \mu_m}{\lambda_m} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_m}{\mu_o} \right)^{0,14} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad \text{Ec 2.12}$$

Donde:

L_p = Diámetro del agitador, m

n = Velocidad de agitación, s^{-1}

d_i = Diámetro interior, m

Sustituyendo los valores de los variables:

$$h_c = 595,34 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$$

$$h_{co} = 2,5 \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)] (Anexo 1)}$$

$$k_{acero} = 16,2 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.10 tenemos:

$$Q_{Ls} = 13.77 \text{ W}$$

Aplicando la ecuación 2.4

$$Q_s = \left(\frac{30\,557\,609}{1800} + \frac{13.77}{2} \right) (1 + 0,2) = 20\,380\text{W} = \mathbf{20,38\ kW}$$

2.2.2 Tiempo total del proceso.

Para determinar el tiempo total del proceso es necesario plantear la siguiente relación.

$$\Delta T = \frac{Q_s * t}{m * cp} \qquad \text{Ec 2.13}$$

Aplicando la relación con intervalos de tiempo de 60 segundos se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Temperatura de calentamiento con respecto a tiempo

t [s]	T [°C]	t [s]	T [°C]
0	30.00	840	50.00
60	31.43	900	51.43
120	32.86	960	52.86
180	34.29	1020	54.29
240	35.71	1080	55.71
300	37.14	1140	57.14
360	38.57	1200	58.57
420	40.00	1260	60.00
480	41.43	1320	61.43
540	42.86	1380	62.86
600	44.29	1440	64.29
660	45.71	1500	65.71
720	47.14	1560	67.14
780	48.57	1620	68.57

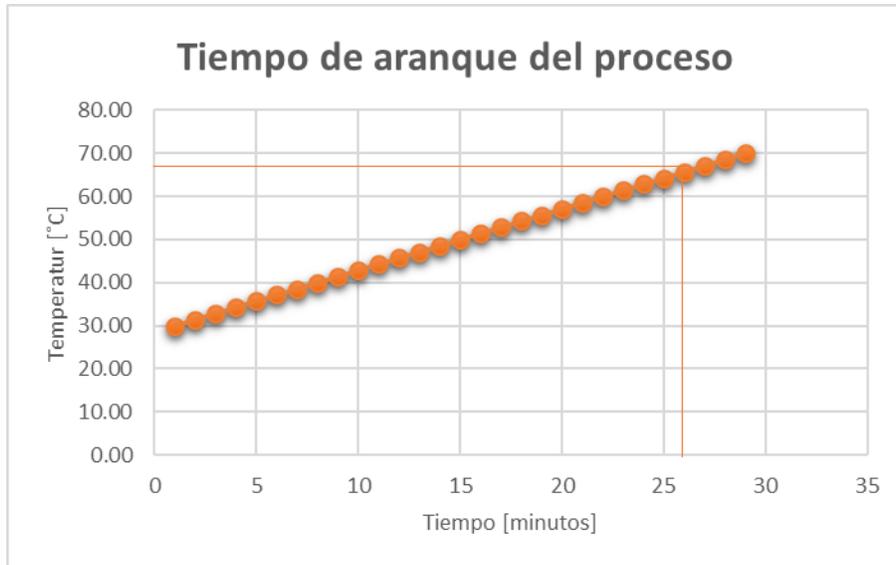


Figura 2.3. Tiempo de alcance de la temperatura de pasteurización [fuente: elaboración propia]

Como se puede observar en la figura 2.2, el tiempo que demora el sistema para alcanzar la temperatura de pasteurización es 26 minutos, entonces el tiempo total del proceso es 56 minutos. O sea el sistema esta capaz de producir 200L/h de leche pasteurizada.

2.2.3 Sistema de refrigeración de la leche

El sistema de generación de frío opera bajo el principio del ciclo de refrigeración, conformado por, Unidad compresor, Condensador enfriado por aire, evaporador (en forma de serpentín en contacto directo con la leche), agitador mecánico, tuberías y válvulas. El sistema de conservación es de las mismas especificaciones del pasteurizador, con capacidad de 200 L, doble camisa y aislado.

Cálculo para la selección de la unidad condensadora

Partiendo del cálculo de la Carga Térmica de la leche Q_{Leche} , este es el calor que absorbe el refrigerante R-22.

$$Q_{Leche} = \frac{m}{t} * cp * \Delta T$$

Ec 2.14

Done:

m = masa de la leche, kg

t = tiempo de enfriamiento, s

cp = calor especifico de la leche, J/kg.K

ΔT = diferencia de temperatura, K

$$Q_{Leche} = \frac{204}{7200} * 4190.54 * (64)$$

$$Q_{Leche} = 7\,598\,W = 6\,537.20\,kcal/h$$

La capacidad que se requiere para la unidad condensadora es de 7,589 kW, o sea 6 537,20 kcal/h, por lo que se elige aquella que presente el mayor rendimiento según el refrigerante empleado (R-22).

Se selecciona la unidad condensadora modelo HAM 040 que posee una potencia frigorífica de 7 119 kcal/h a temperatura ambiente de 32°C y temperatura de evaporación de -5°C.

Las características de la unidad condensadora se puede ver en el anexo 4

2.3 Sistema con calentamiento solar

El sistema va a hacer uso de la tecnología de aprovechamiento de los rayos solares para producir agua caliente para el proceso de pasteurización. El agua caliente producida se dirige hacia un serpentín de calefacción en contacto directo con la leche en el tanque. Por sus ventajas en cuanto a rendimiento, mantenimiento y costo se selecciona el colector solar de tubos al vacío. Va a hacer uso del mismo sistema de refrigeración y bombeo como el sistema base.

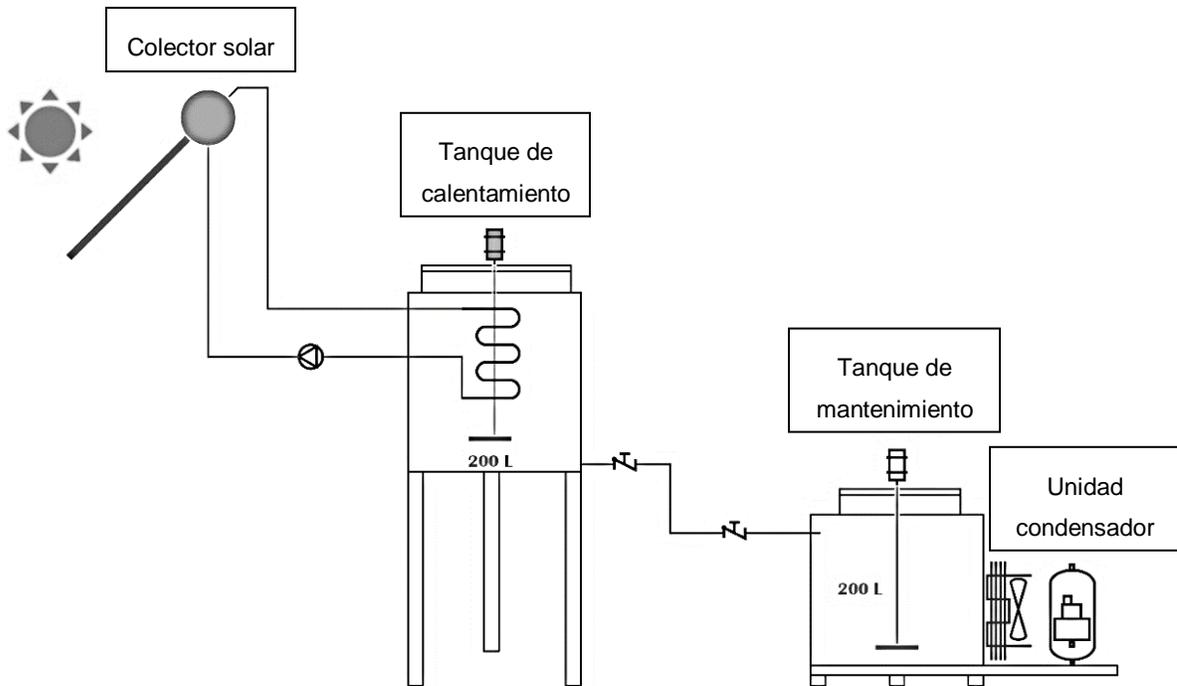


Figura 2.4. Sistema con calentamiento solar [fuente: Elaboración propio]

2.3.1 Cálculo del área de captación $A_{(cap)}$.

Es el área necesaria para captar la energía solar necesaria para satisfacer la demanda energética. Depende de la radiación global y de la eficiencia total del sistema de calentamiento de agua

$$A_{cap} = \frac{Q_n}{H_p * \eta} \quad [m^2] \quad \text{Ec 2.15}$$

Donde:

H_p - Radiación solar

η - Eficiencia del colector

Q_n Demanda Energética

Cálculo demanda energética.

Asumiendo unas pérdidas en el sistema de 5%

$$Q_n = 21.33 \text{ kW}$$

Cálculo de la radiación solar H_p .

Para un cálculo más preciso se considera H_p para los seis meses de invierno donde las condiciones de radiación son más críticas (*Rensol/Cubasolar, 2007*).

$$H_p = \frac{H_{Oct} + H_{Nov} + H_{Dic} + H_{Ene} + H_{Feb} + H_{Mar}}{6} \quad \text{Ec 2.16}$$

2.3.2 Cálculo de número de calentadores solares.

$$N_c = \frac{A_{cap} * FS}{A_c} \quad \text{Ec 2.16}$$

Donde:

FS - Factor de seguridad o de proyección de demanda (1-1,5)

A_c - Area de colector [m^2]

$A_{(cap)}$ - Area de captación [m^2]

Resultados obtenido

Según (Anexo 3)

$$H_p = 5,06 \text{ kWh/m}^2$$

Con una eficiencia de 55%

$$A_{cap} = 7.66 \text{ m}^2$$

Numero de colectores

$$N_c = 1.9 \approx 2$$

Datos del colector se puede ver en el Anexo 5

2.3.3 Cálculo de las características del serpentín de calentamiento

(Robert H. Perry, 2001).

Para determinar las características del serpentín de calentamiento, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = U_d * A * \Delta T \quad \text{Ec 2.17}$$

Donde:

Q = Calor necesario para calentar el jarabe (kJ/h)

U_d = Coeficiente global de transferencia de calor sucio (kJ/ m² °C h)

A = Área de transferencia de calor (m²).

ΔT = Variación de temperaturas (°C).

Se determinó entonces el área de transferencia de calor (A) despejando la ecuación anterior y obteniendo:

$$A = \frac{Q}{U_d * \Delta T} \quad \text{Ec 2.18}$$

Para realizar el cálculo se establecieron además los datos que constan en las tablas 2.4 y 2.5 que a continuación se presenta:

Tabla 2.4. Datos para el cálculo del área de transferencia de calor

Temperatura inicial de la leche t_1 (° C).	30
Temperatura final de la leche t_2 (° C).	68
Masa de la leche m (kg)	204
Tiempo de calentamiento θ (min)	45
Viscosidad de la leche en las paredes del tanque (kg/ m.s)	0.003921
Velocidad de masa (kg/m ² s)	140

Tabla 2.5. Características de la Tubería para el serpentín

Material	Acero AISI 304
Diámetro Interior	0,030 m
Diámetro Exterior	0,035 m
Espesor	0,005 m

Luego de esto se procedió al cálculo del coeficiente global de transferencia de calor sucio (U_d) para que esta dado por las siguientes ecuaciones:

$$U_c = \frac{h_o * h_i}{h_o + h_i} \quad \text{Ec 2.19}$$

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_f \quad \text{Ec 2.20}$$

Donde:

U_d = Coeficiente global de transferencia de calor sucio [kJ/ m² °C s]

U_c = Coeficiente global de transferencia de calor limpio [kJ/ m² °C s]

h_i = Coeficiente de transferencia de calor del agua en el serpentín. [kJ/ m² °C s]

h_o = Coeficiente de transferencia de calor de la leche en el tanque [kJ/ m² °C s]

R_f = Factor de ensuciamiento = 0.002 Btu/h pie² °F

Coeficiente de transferencia de calor para el agua en el serpentín.

Para determinar el coeficiente individual de transferencia de calor del agua en el serpentín (h_i) se utiliza la ecuación:

$$jH = \frac{h_i d_i}{k} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad \text{Ec 2.21}$$

Donde:

h_i = Coeficiente de transferencia de calor del agua en el serpentín (kJ/ m² °C s)

d_i = Diámetro interno de la tubería del serpentín

k = Conductividad térmica del agua (kJ/s m. °C)

c_p = Calor específico del agua (kJ/kg °C).

μ = Viscosidad del agua (kg/ m.s).

μ_w = Viscosidad del agua en las paredes del serpentín (kg/ m.s).

jH = Factor que se obtiene a partir de la gráfica del Anexo 2.

Para hallar el jH es necesario primero encontrar el número de

$$R_e = \frac{d_i G}{\mu}$$

Ec 2.22

Donde:

d_i = diámetro interno de la tubería del serpentín (m).

μ = viscosidad del agua (kg/ m.s).

G = velocidad de masa (kg/ h m²).

Dando como resultado que:

$$R_e = 8890.3$$

Por lo tanto jH es igual a:

$$jH = 34$$

Despejando h_i de la ecuación 2.22 se obtiene:

$$h_i = 1,1 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}$$

Es necesario corregir con los diámetros internos y externos:

$$h_{io} = h_i \frac{d_i}{d_o} \quad \text{Ec 2.23}$$

Donde:

d_i = diámetro interno de la tubería del serpentín [m].

d_o = diámetro exterior de la tubería del serpentín [m].

Por lo tanto:

$$h_{io} = \mathbf{0,96 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}}$$

Conociendo los valores de h_o y h_{io} que son $0,59 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}$ y $0,96 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{°C}$ respectivamente y reemplazados en la ecuación 2.20, se obtiene el valor de U_c

$$U_c = 63.39 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ °F} = 0.360 \text{ kW/m}^2 \text{ °C}$$

Al resolver la ecuación 2.21 se obtienen que el valor de U_d donde:

$$U_d = 56.25 \text{ Btu/h pie}^2 \text{ °F} = 0.319 \text{ kW/m}^2 \text{ °C}$$

La diferencia de temperatura debe ser calculada como una diferencia logarítmica de temperaturas que está dada por la ecuación:

$$MLDT = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad \text{Ec 2.24}$$

Dando como resultado:

$$MLDT = 46,91^\circ \text{ C}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.19

$$A = \mathbf{1.33 \text{ m}^2}$$

**Cálculo del número de vueltas del serpentín (A. Castillo González, 2011)
(Robert H. Perry, 2001).**

El número de vueltas del serpentín se determina con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{L_c}{\pi * D_c} \quad \text{Ec 2.25}$$

Donde:

L_c = Longitud total del serpentín

D_c = Diámetro de las espiras del serpentín

La longitud total del serpentín se determina como:

$$L_c = \frac{A}{\pi * di} \text{ [pie]} \quad \text{Ec 2.26}$$

Dando como resultado:

$L_c = 11 \text{ pie} = 3.35 \text{ m}$

El diámetro de la espira se determina como:

$$D_c = D_a + (2 * 0,1) \text{ [m]} \quad \text{Ec 2.27}$$

Entonces:

$D_c = 0,39 \text{ m}$

Por lo tanto

$n = 4 \text{ vueltas}$

La separación entre espiras está dada por la siguiente ecuación:

$$S_c = \frac{Z_c}{n-1} \text{ [m]} \quad \text{Ec 2.28}$$

Donde:

Z_c = altura del serpentín

n = número de vueltas

$$Z_c = H - H_c - C_c \quad [m]$$

Ec 2.29

Donde:

H = altura del tanque, m

H_c = altura e/ el techo del tanque y el límite superior del serpentín, m

C_c = altura e/ el fondo del tanque y el límite inferior del serpentín, m

La altura que existe entre el techo del tanque y el límite superior del serpentín (H_c) y el fondo del tanque y el límite inferior del serpentín (C_c) se calculan como:

$$H_c = (H - L) + \frac{L}{6} \quad [m]$$

Ec 2.30

$$H_c = 0,4 \text{ m}$$

$$C_c = \frac{L}{12} \quad [m]$$

Ec 2.31

$$C_c = 0,0525 \text{ m}$$

Entonces:

$$Z_c = 0,48 \text{ m}$$

Con el valor de Z_c se calcula S_c que dio como resultado

$$S_c = \mathbf{0,16 \text{ m}}$$

En la tabla 2.6 se resume las características del serpentín

Tabla 2.6. Características del serpentín de calentamiento

Diámetro del serpentín, Dc	0,4 m
Diámetro del tubo	0,035 m
Longitud total, Lc	3.3 m
Numero de vueltas, n	4
Altura del serpentín, Zc	0,48 m
Espacio entre espiras	0,16 m

2.4 Sistema de Calentamiento con Biogás

El sistema va a utilizar un calentador de agua con quemador para producir agua caliente para el proceso de pasteurización. El agua caliente producida se dirige hacia un serpentín de calentamiento en contacto directo con la leche en el tanque. El sistema de refrigeración es el mismo que en los sistemas anteriores.

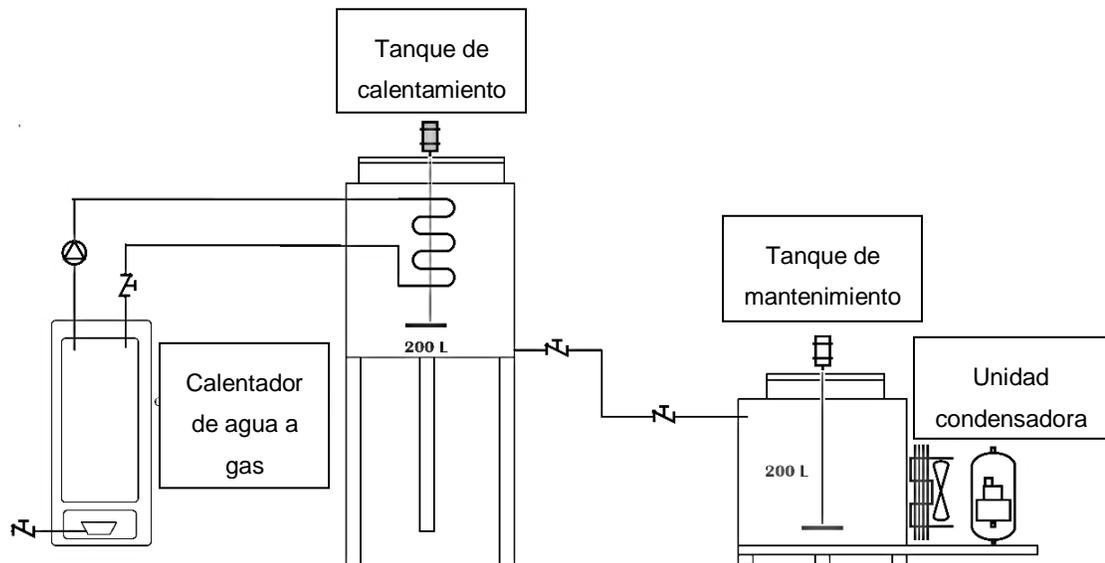


Figura 2.5. Sistema de calentamiento con calentador de agua a Biogás [fuente: elaboración propia].

2.4.1 Selección del calentador de agua.

Para la selección del calentador de agua a gas vamos a hacer uso del criterio de la potencia del quemador. Con el valor del poder calorífico inferior del gas de 29 787 kJ/m³ y su densidad de 1,08 kg/m³. se aplica la siguiente ecuación (SISEA, 2010)

$$Pn_{biogas} = 0,278 * M_n * PCI \quad \text{Ec 2.32}$$

Donde:

Pn_{biogas} = potencia nominal KW

M_n = Flujo másico nominal del gas kg/h

PCI = Poder calorífico inferior kJ/kg

Asumiendo un flujo másico de 1,23 kg/h

$$Pn_{biogas} = \frac{0,278 * 1,23 * (29787/1,08)}{3600} = 2,61kW$$

Con el valor de la potencia del quemador y entrando el catálogo de calentadores de agua de Junkers se selecciona el calentador S120 KP que tiene una potencia de 6,9 kW los demás detalles se puede ver en el anexo 6

CAPITULO III

CAPITULO 3: EVALUACION DE LOS SISTEMAS

En este capítulo se realizan las evaluaciones preliminares de los distintos sistemas de pasteurización. Las evaluaciones que va a ser realizados son:

Evaluación energética: El consumo energético de los distintos sistemas

Evaluación ambiental: Evaluación de los impactos ambientales por emisiones de las fuentes portadores energéticos de los sistemas.

Evaluación económica: Estimación del costo de los distintos sistemas

Evaluación comparativa: Comparación de los sistemas tomando como base de comparación las evaluaciones anteriores.

3.1 Evaluación Energética

Como fue determinado en el capítulo anterior, el sistema es capaz de producir 200 L de leche pasteurizada en una hora. Siendo el periodo de ordeño entre las horas de la madrugada se calcula el consumo utilizando la tarifa del horario de 5:00 – 17:00 (0,12907 cuc/kw-h)

Tabla 3.1. Resumen consumo energético del sistema eléctrico

Componente	Potencia kW	Cantidad	Tiempo h	Consumo kW-h	Costo cuc/día
Resistencia Eléctrica	3,0	7	1	21	2.710
Motor del agitador (tanque calentamiento)	0,37	1	1	0,37	0,0477
Motor del agitador (tanque mantenimiento)	0,37	1	2	0,74	0,0955
Unidad Condensadora	2.6	1	2	5.2	0,671
					3,52

Tabla 3.2. Resumen consumo energético del sistema solar

Componente	Potencia kW	Cantidad	Tiempo h	Consumo kW-h	Costo cuc/día
Colectores solar	38	2	1	38	0
Motor del agitador (tanque calentamiento)	0,37	1	1	0,37	0,0477
Motor del agitador (tanque mantenimiento)	0,37	1	2	0,74	0,0955
Unidad Condensadora	2.6	1	2	5.2	0,671
					0,8142

Tabla 3.3. Consumo energético sistema de biogás

Componente	Potencia kW	Cantidad	Tiempo h	Consumo kW-h	Costo cuc/día
Calentador de agua	2,39	1	1	2,39	0
Motor del agitador (tanque calentamiento)	0,37	1	1	0,37	0,0477
Motor del agitador (tanque mantenimiento)	0,37	1	2	0,74	0,0955
Unidad Condensadora	2.6	1	2	5.2	0,671
					0,8142

Para determinar la masa de biogás necesaria se parte de las ecuaciones de necesidad energética 3.1 y 3.2 donde la necesidad energética diaria de la pasteurización de leche calculada en el capítulo anterior es de 30 557,609 kJ. El poder calorífico inferior del biogás es de 28 787 kJ/kg. Se supone un valor aproximado del rendimiento de un calentador de agua a gas de 90%.

$$Q = \mu_G * Q_G \quad \text{Ec 3.1}$$

$$Q_G = m_G * PCI_G \quad \text{Ec 3.2}$$

Donde:

$Q_G = \text{Necesidad energetica, kJ}$

$m_G = \text{Cantidad de biogás, m}^3$

$PCI_G = \text{Poder calorifico inferior del biogás, kJ/m}^3$

$\mu_G = \text{Rendimiento de un calentador de agua a gas}$

Despejando la masa se obtiene:

$$m_G = \frac{30\,557,609 \text{ kJ}}{\left(\frac{29\,787 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}}{1,08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) * 0,9 * 1 \text{ día}} = 1,23 \text{ kg/día}$$

$$m_{G(\text{año})} = 1,23 \text{ kg/día} * 365 \text{ día/año} = 449,33 \text{ kg/año}$$

3.2 Evaluación ambiental

A favor de realizar una valoración del impacto ambiental de los sistemas de pasteurización, se evalúa la cantidad de kg-CO₂ emitida a la atmósfera por el consumo de energía (M.Sc. S. Edgar, 2013).

$$E_i = N_c * e_{CO_2} \quad \text{Ec 3.3}$$

Dónde:

N_c : Consumo energético del sistema, [kW]

e_{CO_2} = Emisiones de CO_2 por kW-h, según normas internacionales de medio ambiente = (0,921 $kgCO_2/kWh$ según tipo de combustible quemado en las termoeléctricas de Cuba.)(M.Sc. S. Edgar, 2013).

Emisiones de la fuente eléctrica

$$N_{c(\text{potencia eléctrica total año})} = 21 \text{ kW} * 1 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 30 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 7\,560 \text{ kWh/año}$$

$$E_i = 7\,560 \text{ kWh/año} * 0,921 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 6\,962,76 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

Emisiones de la fuente de biogás

$$N_{c(\text{consumo de biogás al año})} = 379,28 \text{ kg/año}$$

e_{CO_2} = 2,75 $kgCO_2/kg$ biogás (<http://www.valdeperrillos.com/forum/debate-en-forum-energetico/biogás>, 2013)

$$E_i = 379,28 \text{ kg/año} * 2,75 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg}} = 1\,044,02 \text{ kgCO}_2/\text{año}$$

La fuente solar, por su naturaleza, no presenta emisiones de CO_2

En la figura 3.1, se puede apreciar los resultados de las emisiones de CO_2 , según distintos portadores de energía térmica. El portador eléctrico, por su alto consumo de energía eléctrica emite la mayor cantidad de CO_2 , casi 6 veces mayor que el portador de biogás. El colector solar no emite emisiones al medioambiente.

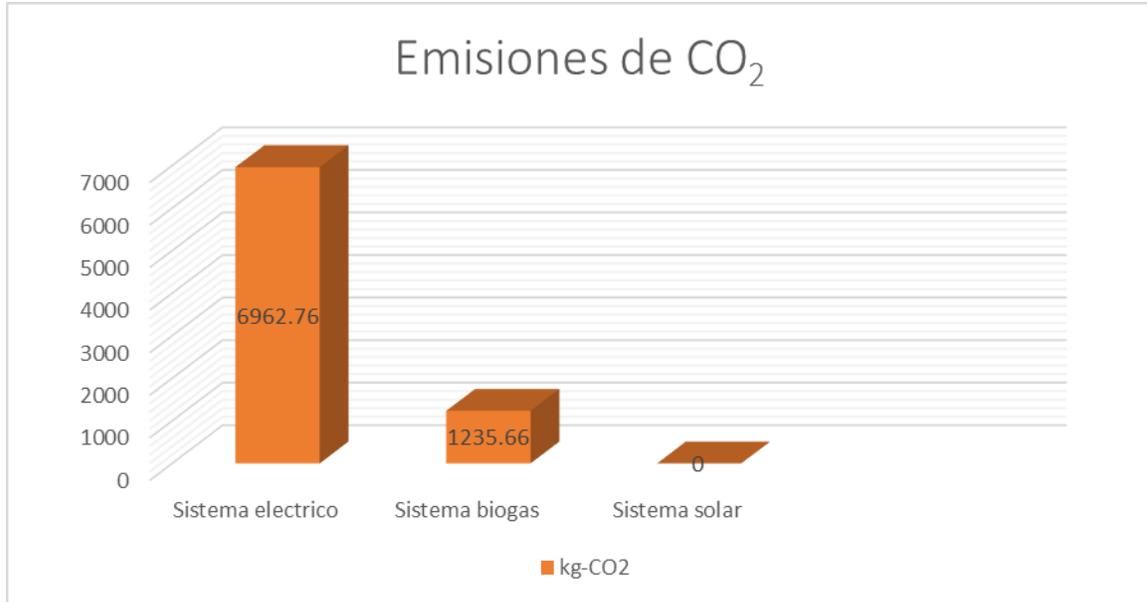


Figura 3.1. Análisis de las emisiones de CO₂ de los distintos sistemas, [fuente elaboracion propia.]

3.3 Evaluación Económica

Lo siguiente es una estimación del costo preliminar de los sistemas. Es importante decir que el costo que se toma en cuenta para esta evaluación es el costo de los portadores de energía, dado que en los 3 sistemas este es el parámetro que varía y el costo del resto de los componentes es igual. Para todas las anteriores tampoco se toma en cuenta el costo de mano de obra o los costos de instalación de los componentes.

Costo sistema eléctrica

Tabla 3.4. Costo fuente eléctrica

Componente	Cantidad	Costo Unitario USD	Costo Total USD

Resistencia Eléctrica	7	64,91	604,31
Termostato	7	25,08	233,49
			837,80

Costo sistema Solar térmica

Tabla 3.5. Costo fuente solar térmica

Componente	Cantidad	Costo Unitario USD	Costo Total USD
Colector solar	2	362,00	724,00
tuberías	1x6m	37,72	37,72
			751,72

Costo sistema de biogás

Tabla 3.6. Costo fuente biogás

Componente	Cantidad	Costo Unitario USD	Costo Total USD
Calentador de agua a gas	1	970,9	970,9
Válvula de seguridad	1	22,61	22,61
Tubería	1x6 m	37,72	37,72
			1 031,23

3.4 Evaluación Comparativa

Tomando en cuenta los resultados de las evaluaciones anteriores en la tabla siguiente se compara los resultados con el propósito de seleccionar el mejor variante. Se utiliza un sistema de rango de A-C, siendo “A” el mejor valor y C el peor valor.

Tabla 3.7. Evaluación comparativa de los sistemas de pasteurización

Evaluación \ Sistema	Energética	Ambiental	Económica
Eléctrico	B	C	B
Solar	A	A	A
Biogás	A	B	C

3.5 Indicadores de los sistemas de pasteurización

Lo siguiente es una determinación de los indicadores de pasteurización de la leche de cabra con los sistemas estudiados. Los indicadores que se presentan son:

- Consumo en kW-h/L
- Costo energético cuc/L
- Emisiones en kg-CO₂/L

Estos indicadores se utilizan en conjunto con la tabla 3.7 como criterio de selección final del sistema de pasteurización.

Tabla 3.8. Indicadores de los sistemas de pasteurización

Indicador	Unidad	Eléctrica	Solar	Biogás
Consumo energético	kW-h/L	0,105	0,19	0,012
Costo energético	CUC/L	0,0135	0,024	0,0015
Emisiones	Kg-CO ₂	0,0967	0	0.033

De acuerdo con (<http://www.cosechaypostcosecha.org>, 2013), 1m³ de biogás produce 2.1 kW-h de energía eléctrica. Hace falta 1,23 kg de biogás para pasteurizar 200L de leche. El biogás tiene una densidad de 1,08 kg/m³ entonces:

$$1,23/1,08 = 1,13 \text{ m}^3 \text{ biogás} = 2,39 \text{ kW-h equivalente}$$

$$\text{El consumo equivalente por L de leche} = 2,39/200 = \text{kW-h/L}$$

Siguiendo los resultados de la tabla 3.7 y los criterios de los indicadores el sistema que presenta los mejores resultados es el sistema solar. Entonces se propone el uso del sistema de pasteurización con energía solar térmica.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES GENERALES

1. No se reporta en la bibliografía revisada un sistema completo de pasteurización que se ajusta a las condiciones de los productores independientes de la leche de cabra en la de la provincia de Cienfuegos Cuba.
2. En la bibliografía revisada no se reporta la existencia de sistemas de pasteurización de leche a nivel comercial que aprovecha el uso de las fuentes no convencionales de energía. Sino si se reporta la existencia de prototipos donde se aplica las fuentes no convencionales de energía en Instalaciones a pequeña escala.
3. En la bibliografía revisada se reporta métodos que permitan realizar los cálculos o selección de los diferentes componentes de sistemas de pasteurización.
4. Utilizando los métodos estudiados en la bibliografía revisada era posible para lograr el diseño termo-mecánico de los componentes del sistema de pasteurización para las condiciones establecidas.
5. Se decide sobre tres fuentes de energía para el sistema de pasteurización de la leche de cabra que son los que con mayor posibilidad podemos emplearse en Cuba.
6. Se evalúan técnico-económico y ambientalmente las tres alternativas de fuentes que permiten realizar la pasteurización que son propuestos y se establecen criterios de conveniencia e indicadores para evaluar dichas instalaciones y de los resultados de estas evaluaciones se propone el uso del sistema de pasteurización utilizando la energía solar térmica.
7. Se propone un algoritmo de cálculo para facilitar futuros estudios de diseño termo-mecánico de instalaciones de pasteurización.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda una evaluación más completa de los componentes del sistema de pasteurización con energía solar térmica tomando en cuenta todos los factores.
2. La realización de un proyecto de construcción del sistema de pasteurización con energía solar térmica para comprobar su factibilidad práctica.
3. La exploración del uso del sistema de pasteurización con energía solar térmica con otros tratamientos para comparar su factibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Castillo González, A. (2011). Tesis de Grado: Diseño del proceso para la elaboración de biodiesel.
- Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL). (2002). Prevención de la contaminación en la Industria Láctea.
- Chromalox Precision Heat and Control. (2001). Determinación de los requisitos de energía calorífica. Calentamiento de líquidos.
- Dimensionamiento de equipos. (2007). Dimensionamiento de equipos.
- Dirección de Estadística Agropecuarias. (2012). Sector Agropecuario. Indicadores Seleccionados.
- Eubank, R. D. (1993). Pasteurización De La Leche Controles Y Exámenes
- Food and Drug Administration (FDA). (2011). Productores de Productos Lácteos (4/95)
- González, A. C. (2011). *Tesis de Grado CAPÍTULO 3*
- Holsinger, V.H. ; Rajkowski K.T. & Stabel, J.R. (1997). Milk pasteurisation and safety: brief history and update.
- <http://www.cosechaypostcosecha.org>. (2013). El-Biogás. *agoindustrializacion*
- <http://www.valdeperrillos.com/forum/debate-en-forum-energetico/biogas>. (2013). biogás.
- Izquierdo, B. M. (2010). Pasteurización de leche con energía solar térmica.
- Kersten Molgaard Nielson, T. S. P. (2001). Solar Panel based Milk Pasteurization.
- Mauricio, MSc Jose & Pope, Z. (2009). Manual De Centros De Acopio Y Pasteurización, en pequeña escala.
- M.Sc. S. Edgar. (2013). *Análisis de Alternativas de Producción de Agua Caliente Sanitaria en Instalaciones Hoteleras y Propuesta de Mejoras de su Eficiencia Energética.*, Universidad de Cienfuegos.

Microsoft Student 2009. (2008). Louis Pasteur, *Microsoft Student 2009*: Microsoft Corporation.

Perez, Dr S. J. (2010). Leche: de la producción al consumo

Rensol/Cubasolar. (2007). Notas de la Reunion de Analisis Tecnico Sobre Proyectos de Calentadores Solares.

Robert H. Perry, D. W. G. (2001). Perry's Chemical Engineers' Handbook

SISEA, L. d. s. e. a. (2010). Manual de quemadores.

Tatiana. (2007). Pasteurizacion de leche con energias renovables en comunidad rural de Curcos (peru).

Warren McCabe, L. & Harriott, J. C. S.Peter. (1991). *Operaciones unitarias en Ingenieria Quimica* (Cuarta Edicion ed.): McGraw-Hill.

www.scribd.com/Calculo-de-Tanque-Agitador. Dimensionamiento de Equipos.

ANEXOS.

ANEXOS.

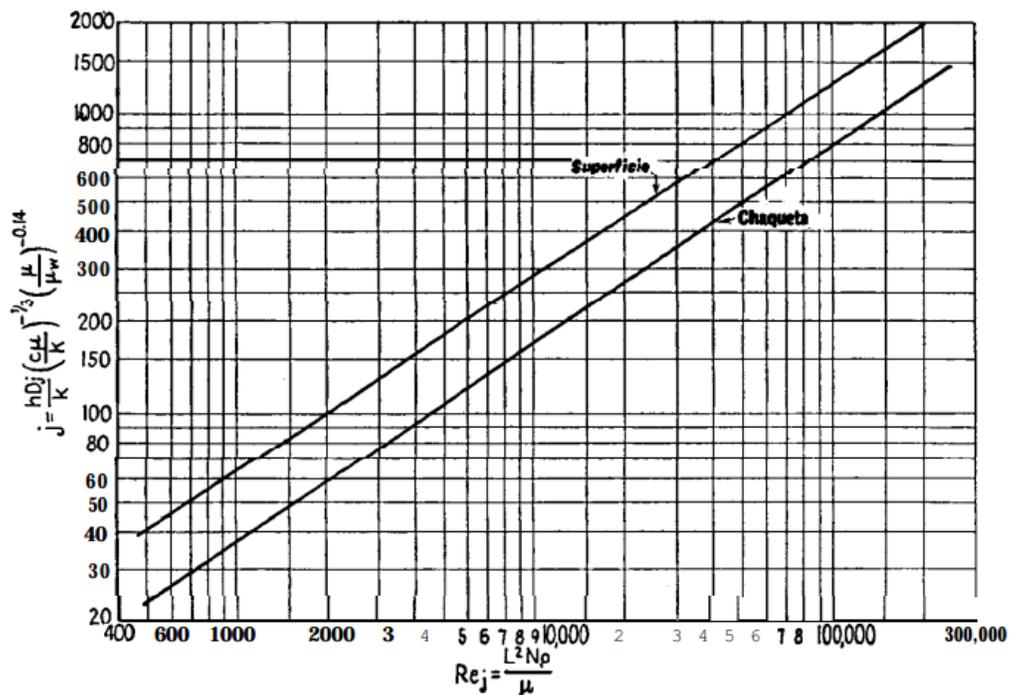
Anexo 1

Coeficientes de conveccion

Fluido y Modo de Convección	BTU / (hr * sq. ft. * F)	W / (sq. m * K)
Aire, Convección Libre	0.1 to 0.5	0.5 to 2.5
Agua, Convección Libre	0.5 to 20	20 to 100
Aire, Convección Forzada	0.1 to 5	0.5 to 30
Agua, Convección Forzada	50 to 2,000	300 to 10,000
Aceite, Convección Forzada	10 to 300	50 to 2,000
Agua Hirviendo	500 to 10,000	3,000 to 60,000

Anexo 2

Coeficiente de Transferencia de calor para chaquetas y serpentines



Anexo 3

Datos de Radiación Solar en Cuba (Hp)

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Guantánamo	4.21	5.00	5.67	6.21	5.99	6.22	6.38	6.09	5.51	4.89	4.28	3.88	5.21
Granma	4.17	4.86	5.48	6.04	5.84	5.98	6.05	5.76	5.35	4.77	4.37	3.91	5.21
Camagüey	3.98	4.78	5.40	5.96	5.81	5.86	5.97	5.67	5.19	4.61	3.99	3.71	5.08
Ciego de A.	4.18	4.97	5.69	6.28	6.12	6.07	6.24	5.86	5.31	4.76	4.25	3.96	5.31
Sancti S.	3.89	4.73	5.47	6.18	5.93	5.72	6.01	5.74	5.10	4.49	3.88	3.54	5.05
Cienfuegos	3.98	4.76	5.47	6.18	5.93	5.61	5.94	5.66	5.00	4.54	3.99	3.70	5.06
Matanzas	4.10	4.93	5.74	6.42	6.20	5.73	6.04	5.75	5.10	4.70	4.17	3.84	5.23
La Habana	4.04	4.88	5.65	6.41	6.26	5.74	6.14	5.87	5.07	4.77	4.20	3.77	5.23
Pinar del Río	4.01	4.73	5.51	6.23	6.15	5.84	5.85	5.60	5.07	4.67	4.11	3.72	5.13

Anexo 4. Datos de la Unidad condensadora

Dados de Capacidade em 60 Hz



HAM / HCM

R-22

Unidades Condensadoras Modelos	Referência Comercial (HP)	TE TA	+10°C	+5°C	0°C	- 5°C	- 10°C	- 15°C	- 20°C
			Kcal/h						
HAM 010	1,0	32	2823	2487	2169	1879	1325	1075	828
		35	2683	2362	2056	1598	1199	949	702
HAM 015	1 1/4	32	3780	3160	2589	2072	1613	1214	874
		35	3593	3000	2455	1962	1525	1146	823
HCM 018	1,5	32	4296	3591	2942	2355	1833	1379	992
		35	4084	3410	2789	2230	1733	1302	936
HCM 022	2,0	32	6046	5116	4250	3455	2732	2082	1505
		35	5780	4881	4044	3275	2576	1947	1390
HCM 028	2,5	32	8031	6903	5845	4862	3957	3133	2391
		35	7680	6629	5602	4647	3767	2966	2243
HCM 032	2,75	32	9127	7755	6491	5337	4296	3366	2547
		35	8784	7456	6231	5113	4104	3204	2409
HCM 036	3,0	32	10133	8756	7457	6241	5119	4091	3160
		35	9761	8421	7155	5971	4877	3873	2963
HCM 040	3,5	32	11977	10211	8593	7119	5790	4596	3354
		35	11622	9886	8293	6843	5533	4356	3310
HCM 044	4,0	32	12726	10755	8972	7375	5961	4725	3547
		35	12284	10360	8620	7062	5626	4478	3437
HCM 050	4,5	32	13993	11735	9713	7928	6373	5044	3927
		35	13444	11255	9296	7568	6064	4781	3704
HCM 064	5,0	32	18207	15411	12843	10510	8415	6558	4932
		35	17521	14822	12344	10092	8073	6282	4716

Dados de capacidade:
Superaquecimento a 8°C / Subresfriamento a 3°C

TE: Temperatura de Evaporação em °C
TA: Temperatura Ambiente em °C

Anexo 5. Datos del colector solar



SISTEMAS SOLARES TERMOSIFONICOS DE TUBOS DE VACIO.

TIPO: LPC 47-1525-30 ACF



APLICACIONES

- **Uso doméstico.**
- **Escuelas, hospitales, residencias estudiantiles.**
- **Piscinas y centros deportivos.**
- **Hoteles.**

DATOS TECNICOS.

Item	LPC 47-1525-30 ACF
Capacidad tanque (litros)	200
Producción (l/día a 50°C)	300
Tanque interior	Ø 350 mm, material Acero inoxidable SUS 304-2B, Espesor 0,5 mm
Tanque exterior	Ø 450 mm, material Acero prelacado, Espesor 0,4 mm
Aislamiento térmico	Espuma de poliuretano de espesor 50 mm
Tubo de vacío	Dimensiones Ø 47 x 1500 mm (*)
Cantidad de tubos	25
Unión tubo tanque	Anillo de silicona ø 47 mm
Diámetro de conexión	15 mm (1/2" NPT)
Presión de trabajo	Atmosférica (máximo 1,5 mca)
Área bruta/de apertura (m ²)	3,9 / 2,4
Peso vacío/ lleno	350/260 Kg
Respaldo eléctrico	(En el tanque) 1,5 Kw (Opcional)
Soldadura	Automática de Argón-Continua de contactos

Anexo 6. Datos del calentador de Agua a gas

Acumulador directo de agua a gas



		Acumuladores			
MODELO		S 120 KP L	S 160 KP L	S 190 KP L	S 290 KP K
Alto	mm	1.227	1.477	1.727	1.681
Diámetro	mm	500	500	500	635
Capacidad del depósito	litros	115	155	190	280
Tiempo de recuperación hasta 60°C	min	69	81	89	69
Potencia del quemador	kW	5,9	6,8	7,3	14,9
Cantidad de agua disponible con depósito a 70°C					
A 60°C de salida		150	202	260	360
A 28°C de salida		267	360	464	570

Acumuladores de agua a gas

	Modelo	Referencia	Código EAN	Capacidad (litros)	Tipo gas	Medidas alto (mm.) x Ø	Precio base de venta €
 S... Equipado con dispositivo de control de gases.	S 120 KP	7 708 402 011	4 010 009 016 304	115	B/N	1.277 x 500 Ø	730
	S 160 KP	7 708 403 011	4 010 009 016 342	155	B/N	1.477 x 500 Ø	820
	S 190 KP	7 708 404 012	4 010 009 016 373	190	B/N	1.727 x 500 Ø	1.000
	S 290 KP	7 708 405 008	4 010 009 016 397	280	B/N	1.681 x 635 Ø	2.060
	VÁLVULA DE SEGURIDAD (6,0 bar.)	7 719 000 779	4 010 009 050 933	Obligatoria instalación			17

Anexo 8. Datos de las resistencias eléctricas



CATÁLOGO TÉCNICO
MANUALES, CATÁLOGOS Y HOJAS TÉCNICAS: EN NUESTRA WEB

RESISTENCIAS ELÉCTRICAS PARA INMERSIÓN NOB "con tapón de acoplamiento y vaina para termostato"

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

- Elemento tubular en acero inoxidable AISI 321, AISI 316L o cobre niquelado de Ø8 mm, según modelos.
- Cabezales roscados de latón estampado.
- Caperuza de protección mecánica IP-40.
- Soldadas con aleación de plata para tubo inox.
- Vaina para termostato de caña enchufable a la resistencia.
- Tensión normalizada ~230V.

RECOMENDACIONES:

- Para calentamiento de agua **NO** utilizar la gama de termostatos A2 y B2 (escala de regulación 30°C a 150°C).
- Para calentamiento de aceite térmico de alta calidad o con gran velocidad de circulación **NO** utilizar resistencias en tubo de cobre o cobre niquelado. El efecto corrosivo del aceite sobre el cobre puede hacer que la vida de la resistencia se vea seriamente perjudicada.



TARIFA DE PRECIOS

I.V.A. NO INCLUIDO. CONSULTE POSIBLES ACTUALIZACIONES

GRUPOS MONOBLOC CON VAINA PARA TERMOSTATO

Tensión 220V

- Las NOB incluyen:
- Goma acoplamiento
 - Caperuza protección



Código	Artículo	Longitud	Wats	€ (Sin termostato)
PARA AGUA - ROSCA 1-1/4"				
RA 02 001	NOB-11	120	500	35,30
RA 02 002	NOB-12	150	750	33,78
RA 02 003	NOB-13	315	1.000	34,44
RA 02 004	NOB-14	315	1.500	42,37
RA 02 005	NOB-15	315	2.000	46,39
RA 02 006	NOB-16	280	2.500	69,89
RA 02 007	NOB-17	325	3.000	64,91
RA 02 008	NOB-18	375	3.500	82,82
RA 02 011	NOB-21	300	1.000	35,39
RA 02 013	NOB-23	300	1.500	38,40
RA 02 014	NOB-24	335	2.000	39,48
PARA ACEITES - ROSCA 1-1/4"				
RA 02 021	NOB-3	315	1.000	46,26
RA 02 023	NOB-5	450	1.500	56,79
RA 02 025	NOB-7	420	2.000	65,58
RA 02 027	NOB-30	450	2.500	107,10
RA 02 029	NOB-32	530	3.000	119,55
NOTA: AL PRECIO DE LA RESISTENCIA AÑADIR EL DEL TERMOSTATO ADECUADO.				
TERMOSTATOS PARA MONOBLOC				
RA 01 264	TER-CO-137-0-90F	137		19,58
RA 01 265	TER-CO-137-40-150F	137		25,08
RA 01 266	TER-CO-270-30-90F	270		17,50
RA 01 267	TER-CO-270-90-150F	270		24,26

Anexo 8. Algoritmo de Paso en el diseño de sistemas de pasteurización.