

# INFORME PARA EL CICYT

## **TITULO:**

*“Diseño de una Planta Agroindustrial para Pasteurizar Leche”*

## **AUTOR:**

*Juan Estuardo Reinoso Calle*

## **DIRECTOR DE TESIS:**

*Ing. Mec. Manuel Helguero González*

## **RESUMEN**

Desde los inicios de estudio de mi carrera, siempre tuve la inquietud de desarrollar proyectos y trabajos que sean solución real para un problema. Mi familia siempre ha estado vinculada al agro, y muy especialmente a la ganadería; entonces busqué un vínculo de esta actividad con la profesión que estudiaba para lograr en un futuro mediano el inicio de una pequeña empresa, y que mejor idea que Pasteurizar leche a un nivel productivo medio. Entonces nació la idea de este proyecto como tema de tesis.

Partiendo desde este hecho, y luego de buscar la afinidad con mi especialidad, se decidió darle impulso a este proyecto junto con un profesor de la unidad, con el cual espero plasmarlo en la práctica a largo plazo.

Es importante citar que la capacidad de esta instalación será tan solo para cubrir un porcentaje de la zona donde estará la planta, con el cual la inversión inicial no será tan onerosa como acostumbra a ser este tipo de industrias alimenticias por el alto costo de los materiales usados y por la altísima competencia que en la actualidad existe en esta rama.

## **INTRODUCCION**

En el desarrollo de esta tesis se logrará diseñar una planta agroindustrial de pasteurización de leche, para un nivel de producción pequeño. Esta planta será diseñada bajo características particulares, pero no se dejará de tomar en cuenta las

normas existentes para la industria lechera, para obtener un producto de buena calidad.

En primer lugar se debe conocer cuales son las razones para pasteurizar la leche y su historia a través de los años, para de esta forma estimar que proceso de higienización se ajusta mejor a las características presentes en este trabajo. Con esa información es posible bosquejar que equipos se deben disponer en la planta para obtener una leche apta para el consumo humano, los cuales de una manera general serán descritos.

Al saber cuales son los requerimientos necesarios para obtener leche para ser comercializada, se procederá a seleccionar los equipos que contribuyan a tal proceso y algunos, que por razones de costo se los pueda fabricar, se los diseñará según sea el caso con los parámetros particulares de este trabajo.

Luego de ser diseñados y seleccionados los equipos necesarios, se realizará un diseño de planta adecuado con sus respectivos diagramas de Pert y Gantt para el montaje.

Finalmente se analizará el costo total de la planta, estimado por los costos de los equipos, y sus obras complementarias. También se realizará sugerencias para todas aquellas personas interesadas en diseñar plantas similares.

## **DISEÑO DE EQUIPOS**

### **Diseño del sistema de transportación seleccionado**

Los equipos que pertenecen al sistema de transportación de la leche dentro de la planta, están divididos en dos grupos; los que se van a ser diseñados de acuerdo a las necesidades particulares que se tiene y los que simplemente se los va a seleccionar. Los ubicados dentro del primer grupo son la cinta transportadora de cántaras, la lavadora de cántaras, el sistema de volteo de las cántaras. Los restantes serán seleccionados dentro de los equipos que existen en el medio de acuerdo a las necesidades de la planta como son las bombas sanitarias de leche y la báscula de recepción de la leche.

A continuación se desarrolla el proceso de diseño o de selección de los equipos del sistema de transportación de leche:

### **Cinta transportadora de cántaras**

Para el diseño de la cinta, se debe tomar como prioridades la capacidad de recepción que se requiere y la velocidad a la que se deberá recibir esta cantidad de producto. Entonces cabe recordar que la capacidad de procesamiento máximo con la que se dispondrá de esta planta será de 8000 litros de leche pasteurizados al día. Es decir, que si se trabaja con las cántaras más comunes dentro del medio, o sea las de 40 litros

de capacidad, se deberá recibir 200 cántaras con leche por día. Pero para posibles aumentos diarios no pronosticados, se suele aumentar en un 10% dicha capacidad de recepción; entonces se debe diseñar para 225 cántaras, que nos da un total de 9000 litros, que sería lo máximo que se puede recibir dentro de 3 horas.

Para lograr el manejo de 225 cántaras de 40 litros de capacidad, es importante conocer las dimensiones de la cántara utilizada, para lograr un mejor diseño de la cinta de transportación. La cántara posee dos diámetros, uno superior de 240 mm y uno inferior de 360 mm. La altura total de la cántara es de 650 mm. Plano No. 5.

Potencia del motor:  $P = 5 \text{ HP}$

#### Cadena primaria de movimiento

Esta cadena es la que transmite el movimiento desde el motorreductor hasta la cinta transportadora de cántaras. El motorreductor tendrá una potencia de placa de 5 HP y podrá reducir la velocidad hasta 10 r.p.m. necesarias en la cinta de transporte. Entonces dada la facilidad de que se puede conseguir la velocidad angular directamente desde el motor, no se requiere reducción alguna, y por lo tanto los piñones a usar han de ser idénticos

Con toda la información obtenida, se escoge la cadena No. 160 que tiene un paso de 2". Esta cadena necesita dos piñones idénticos con 21 dientes y puede albergar un eje de máximo 5 1/4".

#### Selección de la Cinta Transportadora de Cadena

. Para un paso de 2 1/2 pulgadas se tiene 2 opciones, C2100H y C2102H.

Para escoger entre las dos posibilidades existentes y considerando que ambas cumplen con los requisitos expuestos anteriormente, siempre se debe escoger la que represente menos costos; es decir, se escoge la cadena C2100H de Rexnord.

Para esta cadena de 2 1/2" de doble paso se usará un piñón del tipo "Double Duty Sprocket", ya que según la tabla se necesita un mínimo de 45 dientes de 1 1/4" de paso. Este piñón hace trabajar a la mitad de sus dientes en cada revolución, mientras que la otra no trabaja. De esa manera se desgasta igual la cadena, lo que no ocurriría si fuese el número de dientes pares.

Como una comprobación de la cadena escogida, se revisa en la tabla de valoración de caballaje del catálogo Rexnord en la tabla 7 del catálogo Rexnord la cadena escogida C2100H con su respectivo número de dientes del piñón menor (45), el valor de la potencia máxima a soportar. Y como se recuerda el motor a usar para este caso, es de 5 HP, no existe problema.

### **Lavadora de cántaras**

Para el correcto lavado de las cántaras, debe constar de las siguientes zonas, con sus respectivas condiciones de operación:

- I. Zona de entrada con recipiente colector de la leche que gotea de las cántaras
- II. Irrigación previa con agua fría hasta 35°C, retira los últimos restos de leche y las partículas groseras de suciedad.
- III. Pulverización con detergentes especiales para este fin a 65°C a 355 kPa con un  $\text{ph} > 11.5$ . Con estos detergentes se consigue realmente una limpieza a fondo y al mismo tiempo una desinfección.
- IV. Lavado con agua caliente a 85°C a 355 kPa., para retirar todo el detergente presente en la cántara y lograr la desinfección propiamente de la cántara.
- V. Aire caliente, para lograr el secado completo de la cántara.
- VI. Aire frío, para enfriar completamente la cántara.
- VII. Zona de recogida

### **Selección de báscula de recepción**

Se ha encontrado una alternativa más moderna y práctica para pesar la leche que ha de ingresar; método normalmente usado en silos, en los cuales se necesita saber el peso que existe dentro de ellos. El método consiste en construir un recipiente de acero inoxidable 316 con sus respectivas patas, en las cuales se colocará celdas de carga que percibirán el peso presente en tales recipientes.

Este método de pesar resulta práctico y permite realizar un diseño del recipiente de acuerdo a las características de esta planta; en el plano No. 8 se aprecia la forma del recipiente.

### **Selección de bombas del sistema**

Dentro del espectro de los tipos de bombas usados en la industria de la leche, se debe escoger de acuerdo a la función que ella vaya a desarrollar. En este caso en particular, se necesita el bombeo del producto hacia el intercambiador de calor; desde el cual, se dirige hacia el tanque de recepción por la misma presión. Para esta función la bomba adecuada es una del tipo centrífuga de acero inoxidable.

Dentro de las bombas del tipo centrífuga ofrecidas en el mercado, se ha de escoger las de la marca Alfa Laval, para continuar con la selección de esa marca de productos, los cuales son los más accesibles del mercado, no por costos, sino por facilidad de compra aquí.

Para necesidades presentes en la planta, se ha de escoger una bomba cuya curva característica cumpla con un caudal de 3000 litros- hora; es decir, 3 m<sup>3</sup> / hora. Dentro de las bombas posibles, se observa la curva característica de la bomba GM en el anexo 1, la cual puede cumplir fácilmente con esa capacidad, ya que el cabezal presente en la planta no es extremadamente alto y las pérdidas no son grandes. Pero

este tipo de bomba posee varias clases de bombas, ya sea por la calidad del material usado o por el diámetro del impeller.

Observando una vez más la curva característica, se ve que una bomba del tipo GM -1 cumple a cabalidad con las necesidades de la planta, ya que no es fundamental la presencia de un impeller altamente resistente a los ácidos y con un diámetro mayor a 95 mm. Por lo tanto esa bomba es la que mejor se acopla a las necesidades de esta planta. Para apreciar mejor, se puede observar la figura No. 1, el cual muestra las características particulares de la bomba GM – 1.

### **Diseño del sistema de enfriamiento seleccionado**

Dentro del proceso de pasteurización de leche, existe la necesidad de enfriar la leche a 4° C en dos ocasiones. Primero se debe enfriar la leche cuando se la recibe, para evitar que sufra cambios en su composición física y química durante el tiempo que debe permanecer almacenada antes de ser higienizada. Esta leche fría, se mantiene a la misma temperatura a la que ha sido enfriada en el tanque de almacenamiento previo, mediante un serpentín con agua fría destinado para este fin. También se debe enfriar la leche que ya ha sido higienizada, ya que a pesar de estar pasteurizada la leche, esta puede alterar su composición si se la almacena a temperatura ambiente y sin ninguna precaución. Entonces con la leche fría, no existe problema de ser almacenada en el tanque de producto final, ya que al igual que en el tanque de recepción, este mantiene esa temperatura a la cual la leche ha sido enfriada mediante un serpentín.

### **Sistema de enfriamiento de leche recibida**

Para el primer proceso de enfriamiento se necesita un intercambiador de calor de placas, en el cual se baja de temperatura a la leche que ingresa a 25° C de promedio (o más si está en un clima cálido) a 4° C. Este intercambiador de placas, será seleccionado de las unidades ALFA LAVAL existentes para el flujo de leche que ingresa en la planta; es decir, 3000 litros por hora, ya que en 3 horas se debe recibir la totalidad de la capacidad de procesamiento de la instalación.

#### **Selección de intercambiador de calor**

Para la función que debe desarrollar el intercambiador, Alfa Laval posee intercambiadores de la clase M, los cuales han sido diseñados para trabajar con productos alimenticios, y en especial con leche. Como parámetro de selección se usa el flujo máximo de 3000 litros – hora que puede llegar a necesitar la planta, con el cual se escoge un intercambiador de calor M3. A continuación se aprecian los datos técnicos de ese intercambiador de calor:

### **Sistema de enfriamiento de leche procesada**

La leche una vez que ha sido pasteurizada, debe ser inmediatamente enfriada a 4° C, como se lo ha repetido en innumerables ocasiones. Entonces para esto es necesario un intercambiador de calor de placas que realice esta labor; pero, esto será obviado ya que en la unidad Microtherm que se ha de seleccionar posteriormente existe un intercambiador adicional que realice esta función. Por lo tanto, no es necesario entrar en detalle sobre esto, ya que se realizará un análisis en el siguiente subcapítulo, donde se seleccionará al Microtherm adecuado e ideal para cumplir con las necesidades presentes.

### **Equipo de pasteurización Microtherm de Alfa Laval**

El Microtherm posee varios tipos de modelos y capacidades, para cada una de las necesidades de la mini industria de la leche. En el manual del Microtherm (Microtherm Handbook) realizado por ALFA LAVAL, se puede encontrar todos los tipos de equipos para cada una de las necesidades específicas para las cuales han sido diseñadas. A continuación se describen las alternativas existentes y que podrían ser tomadas en cuenta:

Las plantas Microtherms de 150, 300, 600 y 900 litros por hora de proceso sin reenfriamiento posterior, las cuales contienen un solo intercambiador de placas dividido en dos secciones, la primera de precalentamiento y la segunda, de calentamiento propiamente dicho.

Microtherm 150R y 300R que son idénticos a los equipos anteriores, con la única diferencia que poseen una tercera parte dentro del intercambiador de placas, la cual enfría la leche con algún tipo de refrigerante, como agua fría por ejemplo. Una válvula solenoide está montada en el ingreso de la línea de agua y estará abierta tan sólo cuando el equipo está en funcionamiento.

Los equipos de mayor capacidad también poseen un reenfriamiento, si el caso lo requiere y se los conoce como Microtherm 600R y 900R. Están equipados con un reenfriador aparte al ordinario intercambiador de calor; es decir, un cuerpo a parte ubicado frente a él. Existe una válvula solenoide instalada en la tubería de agua fría para el ahorro de agua fría y al igual que en los equipos de menor capacidad, se abre esta válvula tan sólo cuando el equipo está en operación.

### **Diseño del sistema de tanques de almacenamiento y procesamiento**

Un volumen de 10 000 litros (10 m<sup>3</sup>) puede ser almacenado en un sólo tanque, cuyas dimensiones así lo permitan. A continuación se procede a determinar el diámetro adecuado, asumiendo una altura para facilitar la construcción de 2.44 m, que es la medida convencional de las planchas de acero inoxidable en el mercado con lo que se consigue un ahorro en material y en la facilidad de rolamiento de las planchas:

$$VT = 1000 \text{ lts.} = 10 \text{ m}^3$$

$$VT = \frac{\pi}{4} \cdot \phi^2 \cdot h$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4V_T}{\pi h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10}{\pi \cdot 2.44}}$$

$$\phi = 2.28 \text{ m}$$

Es decir, las medidas del cilindro interior del tanque de almacenamiento serán con una altura de 2 440 mm y un diámetro de 2 280 mm, ya que el tanque posee dos cilindros, uno dentro de otro, para permitir el aislamiento térmico de la leche.

El diagrama de forma del resto del tanque, será en base a las medidas del cilindro interior, de acuerdo a las especificaciones necesarias para que dicho tanque pueda almacenar el producto con las condiciones ideales. Por ejemplo, el aislamiento deberá ser de al menos 100 mm, con lo que el tanque exterior tendrá una altura de 2 640 mm y un diámetro de 2 480 mm.

El tanque además cuenta con un “manholl” para permitir la entrada de personal al interior del tanque a limpiarlo. Tiene un diámetro de 600 mm y una boca de 100 mm. En el plano No. 7 se aprecia la ubicación del mismo.

Para la construcción del cilindro interior se usa acero inoxidable 316 del tipo sanitario; para el cilindro exterior se usa un acero inoxidable 304, con un acabado estético.

### **Máquina llenadora y selladora de fundas de leche**

Como se recuerda, en esta planta una de las formas de despacho del producto procesado es mediante fundas de varias capacidades de leche. Para esto es necesario seleccionar un equipo que realice tal función, y como ha sido característico de este proyecto, se ha de seleccionar un equipo Alfa Laval.

Existen varios equipos con diferentes capacidades de llenado y sellado; pero por su simplicidad y bajo costos en relación a los demás se ha de escoger el Prepac B, cuya capacidad de llenado y sellado es de 360 a 400 litros por hora, regulando fundas de 1 y de ½ litro.

Para instalar este equipo se debe tomar en cuenta la capacidad que se requiere envasar mediante él. Para esta planta es necesario tener dos de estos equipos, para al menos envasar 800 litros de leche por hora y si se requiere envasar el total del volumen procesado se debe tener una tercera. Pero como se recuerda, el diseño ha sido hecho para que un porcentaje de la producción sea despachado vía tanques cisternas.

### **Sistema de aire comprimido**

Para toda planta es necesario un sistema de aire comprimido, y con mayor razón si en el proceso de lavado es fundamental el uso de aire a presión para atomizar la solución de detergente. Para esto, se ha recurrido a los especialistas en el ramo, los cuales han

establecido que para la función ha cumplir, es necesario un compresor de 17 CFM. Entonces se escoge un compresor de marca Ingersollrand modelo T30 2475D5

## **CONCLUSIONES**

Luego de finalizar el desarrollo de este trabajo se puede llegar a varias conclusiones y recomendaciones sobre el diseño de la planta; y además sobre como enfrentar una tesis de este tipo con la experiencia obtenida por el autor. A continuación se detalla cada una de ellas sin un orden de importancia:

El diseño de una planta implica muchos sistemas que en primera instancia son dejados de tomarse en cuenta, ya que al principio del trabajo se ha puesto tan solo la atención en el proceso en sí de pasteurización. Entonces es mejor analizar previamente el conjunto, para saber de que forma poco a poco se puede ir planeando el diseño de la planta en su totalidad, para evitar estar realizando cambios de último momento.

El diseño de una planta de productos alimenticios implica muchos cuidados que en otros tipos de planta no son tomados en cuenta, como son la calidad de acabado de los equipos construidos y de los materiales usados para la construcción de los mismos. Y más importantes aún las normas de construcción de equipos sanitarios, para obtener productos de excelente calidad. Entonces es prioridad en trabajos como este no dejar de un lado dichas recomendaciones.

Cuando se realiza un diseño de planta, se debe poseer conocimientos generales de todas las áreas de especialización de Ingeniería Mecánica, ya que todas están ligadas y en la práctica ninguna trabaja aisladas de las demás. Esta conclusión esta basada en la experiencia personal, ya que el área de especialización del autor ha sido Diseño y Producción, sin embargo se ha debido recurrir también al área de termofluidos para poder realizar diseños adecuados en los tanques de almacenamiento y en la selección de los equipos térmicos de la planta.

La posibilidad de diseñar, ha dado como resultado la aplicación de varios conocimientos aprendidos a lo largo de los estudios realizados en la ESPOL pero además ha sido necesario un poco de experiencia y pericia al realizar los diseños; ya que si no se tiene esto, se puede realizar diseños imprácticos y que sean difíciles de construir. Por este hecho es necesario consultar siempre con personas conocedoras del tema y que puedan dar una guía del camino a seguir.

El proceso de selección del equipo adecuado para pasteurizar la leche Microtherm P 900R, ha hecho posible la reducción considerable del diseño de la planta y además ha reducido enormemente los costos de la instalación. Por lo tanto se ha cumplido con el objetivo fundamental de este trabajo, de encontrar una solución de bajo costo, en

comparación con los procesos y equipos convencionales usados, sin dejar de lado la calidad del producto a obtener.

Ha sido muy representativo el proceso de diseño de los equipos, los cuales han sido diseñados de acuerdo a las características de la planta y de la forma del proceso. Esto ha sido una experiencia buena, para saber que los libros no lo son todo, sino también el ingenio y la imaginación para resolver problemas.

El desarrollar una tesis para un estudiante de esta facultad, implica muchas nuevas experiencias para las cuales no se ha estado preparado y que perjudican un poco al estudiante en el tiempo que se toma en finalizar la misma. Sin embargo, esto ha fortalecido el espíritu de lucha para lograr conseguir el objetivo trazado.

Como conclusión final a la tesis se puede decir que el objetivo fundamental de este trabajo ha sido realizado, terminar la formación del nuevo ingeniero, enseñándole a usar las armas que se la ha dado, como son el conocimiento y la técnica; y además la innata de cada uno, las ganas de salir adelante en la meta propuesta. Se puede decir: “Misión cumplida”.

## **BIBLIOGRAFIA**

ALFA LAVAL, Microtherm Handbook. 1990.

ALFA LAVAL, Operator's Manual, 1990

ALFA LAVAL, Mini Dairy, 1990.

ALFA LAVAL, Manual de la industria láctea, 1996.

HOLMAN J. P., Transferencia de Calor, Primera edición, editorial CECSA, 1992.

KONZ STEPHAN, Diseño de instalaciones industriales, primera edición, Editorial Limusa, 1991.

MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, Novena edición, Tomo I y II, Editorial Mc Graw Hill.

PERRY, Manual del Ingeniero Químico, Quinta edición, Tomo V.

SHIGLEY J. E. Y MISCHKE C. R., Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta edición, Mc Graw Hill, 1990.

SPREER EDGAR, Lactología Industrial, Segunda edición, Editorial Acribia, 1975.