

Selección e Instalación de Vapor para una Fábrica de Yogurt y de Crema de Leche

Dennys Díaz V. ⁽¹⁾, Wilson Cauja V. ⁽²⁾, Ángel Vargas Z. ⁽³⁾
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción ⁽¹⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ⁽¹⁾
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
ddiaz@espol.edu.ec⁽¹⁾, wcauja@espol.edu.ec⁽²⁾, anvargas@espol.edu.ec⁽³⁾

Resumen

El vapor es uno de los elementos esenciales en el proceso de elaboración del Yogurt y Crema de Leche, el objetivo del proyecto es precisamente calcular un sistema de vapor de acuerdo a los requerimientos del producto a procesar.

Para este proyecto se hizo una recolección de datos estadísticos de la producción y consumo anuales del Yogurt y de la Crema de Leche en el Ecuador con sus proyecciones futuras y así se determinó la cantidad de producto a procesar.

Luego se determinó los requerimientos de vapor total según las proyecciones a futuro y de acuerdo a eso se seleccionó el tipo de caldera y sus dispositivos de control que se emplearán para la producción de Yogurt y Crema de Leche.

También se analizó y se calculó el sistema de agua de alimentación y su respectivo tratamiento, asimismo se analizó el sistema de combustible.

Luego se realizó el cálculo de las tuberías de vapor, de retorno de condensado y la selección de las trampas de vapor.

Palabras Claves: Calderas, Trampas de Vapor, Caídas de Presión.

Abstract

Steam is one of the essential elements in the process of preparing the yogurt and cream, the objective is to precisely calculate a steam system according to the requirements of the product to be processed.

For this project became a collection of statistical data on annual production and consumption of yogurt and cream in Ecuador with its future projections and thus determined the amount of product to process.

Then we determined the total steam requirements are projected for the future and it was selected according to the type of steam generator and control devices to be used for the production of yogurt and cream.

Also analyzed and estimated the water supply system and their treatment also analyzed the fuel system.

Then we calculated and designed for steam pipes and condensate return and selection of steam traps.

Keywords: Steam Generator, Steam Traps, Pressure Drops.

1. Introducción

El generador de vapor o caldera, es una máquina de vital importancia para el proceso de elaboración de Yogurt y Crema de Leche, pero esta a su vez es complementada con equipos, maquinarias y accesorios que se necesitarán para completar el circuito de vapor del proceso de fabricación de estos alimentos.

Como en toda planta industrial, lo primero que se debe de tomar en consideración para determinar la capacidad de la caldera es precisamente la demanda de vapor que existe en el proceso.

Otro factor muy importante que se debe de considerar es la Presión de Vapor que se requiere en el proceso térmico en los equipos en donde se vaya a utilizar el vapor proveniente de la caldera.

2. Selección del Generador de Vapor.

Para seleccionar el Generador de vapor se tiene que conocer los siguientes parámetros:

- **El Agua de Alimentación Disponible.** Para dicho proyecto se deberá tener una cisterna de 100 m³ la cual es alimentada por tanqueros. La calidad del agua será controlada por medio de un tratamiento permanente de la cisterna.
- **Tiempo de Operación Diaria de la Caldera.** Para la caldera seleccionada el tiempo de operación es de 24 horas, ya que no se parará la producción.
- **Tipo de Caldera a Usar.** De acuerdo a la presión y capacidad (150 psi, 60 C.C.) se requiere una caldera Piro tubular, ya que cuyo valor esta dentro del rango establecido para la utilización de una Caldera Piro tubular (250 Psi).
- **Número de Unidades.** Este factor depende de la demanda de vapor, de acuerdo al balance térmico se deberá tener dos calderas de 60 C.C de marca Cleaver Brooks.
- **Selección del Combustible.** Para calderas de hasta 60 C.C se recomienda utilizar diesel oil, para valores mayores de 80 C.C, se deberá utilizar fuel oil conocido también como Bunker N° 6.

A continuación se detallan las principales características de la caldera que se seleccionó.

- Capacidad Nominal a 100°C: 939 Kg/h
- Tipo: 4 pasos (Tubos de Fuego)
- Dimensión:(3540*1771*1864) mm. (L*A*H)
- Peso de la caldera (nivel normal): 4296 kg.
- Consumo Combustible: 67 l/h (diesel oil).
- Posición de la caldera: Horizontal.
- Presión de Diseño: 10.5 Kg/cm²
- Presión máxima de operación: 9.5 Kg/cm²

3. Sistema de Agua de Alimentación.

En el sistema de agua de alimentación de una caldera constituye la materia prima para la producción de vapor, por lo tanto este elemento debe ser suministrado permanentemente a la caldera a fin de mantener una generación de vapor constante.

Los componentes básicos del sistema de agua de alimentación de una caldera son:

- Tanque de almacenamiento.
- Bomba de alimentación.

3.1 Diseño del Tanque de Agua de Alimentación.

Se sabe que para satisfacer la demanda de agua de un caballo caldera se requieren 0.07 galones americanos por minuto GPM o sea 0.261 litros por minuto.

Con las recomendaciones anteriores la capacidad del tanque será la siguiente:

$$\text{Capacidad del tanque} = \frac{(\text{Reserva mínima de agua})}{0.7}$$

$$\text{Capacidad del tanque} = 236 \text{ galones US}$$

3.2 Bomba de agua de alimentación.

Para calcular la bomba de agua de alimentación se debe de tomar en consideración algunos criterios de selección de una bomba, para las calderas son básicamente las siguientes:

- Operación continua ó intermitente.
- Temperatura del agua a la succión.
- Capacidad.
- Presión de descarga.

La operación de la Bomba de agua de alimentación es de tipo Intermitente, esto se debe a que este tipo de caldera trabajan generalmente con un flotador sobre el cual actúa un switch; este dispositivo hace que el motor que impulsa la bomba pare o arranque entre cierto nivel.

La temperatura del agua en la succión deberá ser de 70°C lo cual es seguro, ya que a temperaturas superiores se presentan problema de cavitación.

Este tipo de bomba tiene que ser seleccionada para una capacidad de 1.5 a 2.0 veces la capacidad de la caldera. La capacidad de la bomba depende de la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{bomba}} = (60CC) * (0.07 \text{ GPM/CC}) * (\text{factor } 2)$$
$$Q_{\text{bomba}} = 8.4 \text{ GPM}$$

La Presión de descarga de la Bomba siempre tiene que ser mayor que la presión de la caldera. Como ya se conoce la presión de operación de la caldera Cleaver Brooks y esta es de 150 Psi y así se puede comenzar a calcular las pérdidas producidas en las tuberías y

accesorios las cuales fueron de 2.12 ft, de este modo se obtuvo las Pérdidas por Presiones Totales que es de 0.92 Psi.

Para tener un factor de seguridad con mayor confiabilidad se toma una presión adicional de 25 Psi entonces la presión de descarga de la bomba va a ser la sumatoria de todas las presiones.

Entonces la bomba de agua de alimentación deberá tener una presión de descarga de 176 Psi.

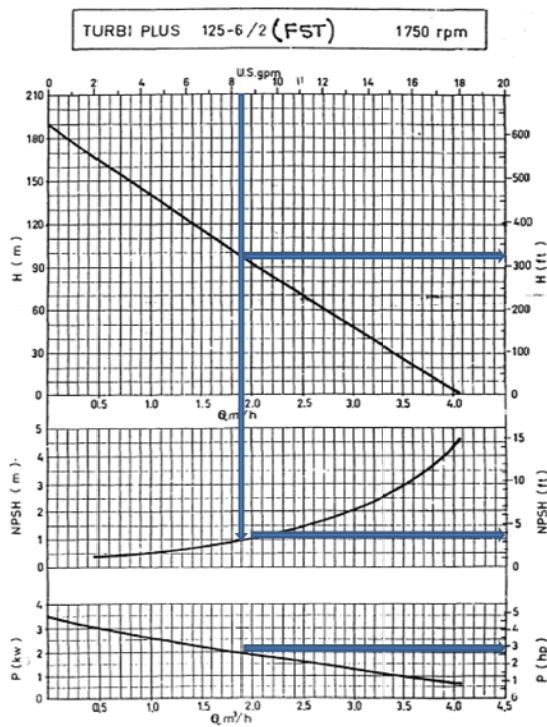


Figura 1. Curvas Hidrostáticas (Bomba tipo turbina de 1750 rpm, 5 hp)

4. Sistema de Combustible.

Se seleccionará como combustible el diesel oíl por ser el más recomendado para calderas de 60 C.C, ya que este tiene mejor calidad y las propiedades son las más apropiadas para el generador de vapor.

El sistema de combustible lo comprenden los siguientes componentes:

- Tanque de combustible
- Bomba de combustible
- Tipo de Quemador

4.1 Tanque de Combustible.

Para dimensionar el tanque de servicio diario y el tanque de reserva, se debe de conocer la demanda de combustible de la caldera con una eficiencia del generador del 80%, esta es calculada de la siguiente manera:

El tanque de servicio diario, deberá tener una capacidad mínima de almacenamiento de 24 horas de operación de la caldera, entonces el volumen del combustible es de 435 galones.

El tanque de almacenamiento ó de reserva fundamentalmente es un tanque horizontal cilíndrico. Este tanque tendrá una capacidad de 25 días laborables es decir 600 horas, entonces el volumen del combustible es de 21840 galones.

Tabla 1. Diámetro de Tanque de Combustible según su Capacidad.

Capacidad (gal)	Diámetro Max (m)	Espesor (in)
Menos de 1321	1,5	3,5
1322-2642	1,85	4
2643-3963	2,33	4,5
3964-6605	2,65	5
6606-13210	3,16	6,5
13211-22815	4	8

Las dimensiones del tanque de almacenamiento diario tendrá las siguientes dimensiones: d=1m, e=3.5in, L=2.09m

Las dimensiones del tanque de reserva, tendrá las siguientes dimensiones: d=4m, e=8in, L=2.09m

4.2 Bomba de Combustible.

Las bombas de combustible son del tipo de desplazamiento positivo, rotativo y de engranajes. Para este caso se ha seleccionado como combustible diesel oíl, la bomba será de engranajes, para esta bomba se recomienda que la altura total de succión de la bomba no sea mayor de 12 pulgadas de mercurio cuando la bomba no se encuentra integrada a la caldera, por otro lado se recomienda que la altura de succión no sobrepase de 10 pulgadas de mercurio cuando la bomba se encuentra integrada a la caldera. La presión de descarga de la bomba puede fluctuar de 40 a 175 Psi.

Donde:

THD = cabezal de presión de descarga, en pies de columna de agua

SG = gravedad específica

Caudal de la bomba (18.2GPH=0.303GPM)
= eficiencia (0.80)

Como el cabezal de descarga es de 100 Psi entonces se tiene que para

Entonces el TDH = 231 ft de agua, y la gravedad específica del diesel oíl es de 0.85.

$$\text{Pot} = \frac{8.33(231 \text{ ft H}_2\text{O})(0.4\text{GPM})(0.85)}{33000(0.80)}$$

$$\text{Pot} = 1/4 \text{ HP}$$

4.3 Tipo de Quemador.

Para este sistema, en la cual se seleccionó una caldera Cleaver Brooks de 60 C.C, esta viene con su quemador típico tal que es un quemador construido integralmente por atomización de aire. Es decir al seleccionar la caldera automáticamente se está seleccionando el quemador requerido, hoy en día los fabricantes incluyen los quemadores y su bomba de combustible, así como algunos accesorios.

5. Cálculos de Tuberías de Vapor, de Retorno de Condensado y Selección de Trampas de Vapor.

El sistema de distribución de vapor constituye el objetivo de la generación de vapor desde la caldera y vendría a ser el medio de enlace entre ésta y los diferentes puntos de consumo. El aire y la humedad son dos elementos indeseables en el vapor.

Las tuberías de retorno de condensado son las que se encargan de regresar al tanque de condensado el agua caliente que resulta de la transferencia de calor latente del vapor al producto que está siendo procesado, además en las tuberías se encuentran trampas de vapor las cuales se encargan de extraer el aire y el condensado formado.

Para dimensionar las tuberías de vapor y de retorno de condensado se deberá de tomar en cuenta algunos parámetros como el caudal másico de vapor, la presión máxima admisible, las caídas de presiones por tramos y efectivamente la longitud total de la tubería, etc.

5.1 Distribución de Tuberías de Vapor y de Retorno de Condensado

En la figura 2 se muestra el diagrama de cómo van a ser instalada las tuberías con sus diferentes equipos los cuales son el punto de consumo de vapor y a la vez tienen su retorno al tanque de condensado para luego ser enviados al tanque de agua de alimentación.

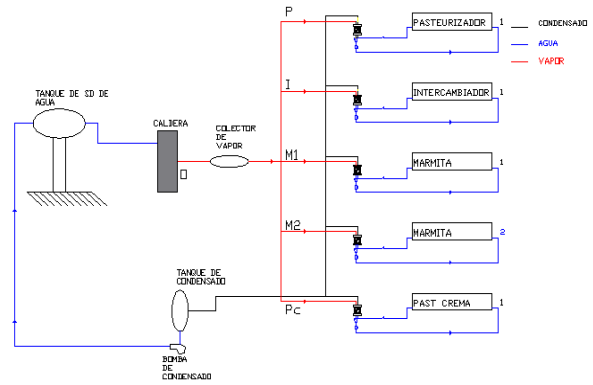


Figura 2. Distribución de Tuberías de Vapor y Retorno de Condensado

5.2 Tuberías de Vapor

Las velocidades convenientes para tuberías de vapor fluctúan entre los 15 y 60 m/s. Normalmente en tuberías principales de distribución se debe adoptar velocidades elevadas de hasta 50 m/s. Para tramos de conexión a equipos, en cambio se recomienda adoptar velocidades inferiores de alrededor de los 20 m/s.

Para calcular los diámetros de tubería de vapor hay que enfocarse en la figura 3, en la cual se ingresa por el lado del caudal hasta interceptar la línea de presión y desplazarnos verticalmente hasta encontrar la velocidad estimada para cada tramo de tubería, luego de la misma forma se ingresa en la figura 4, que es un diagrama de diámetro vs caída de presión y se procede a calcular la pérdidas de carga con la cual este valor ayudará a encontrar la caída de presión por equipo, con la misma tabla se interpola la presión y se obtiene el factor de corrección y así se obtiene la caída de presión este se lo determina para cada uno de los tramos.

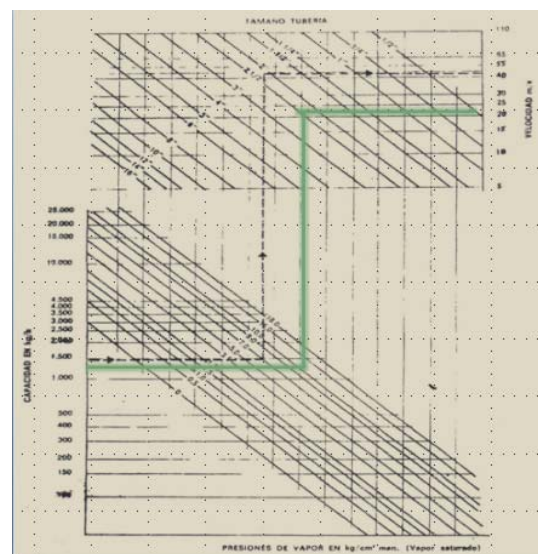


Figura 3. Caudal vs Presión de Operación

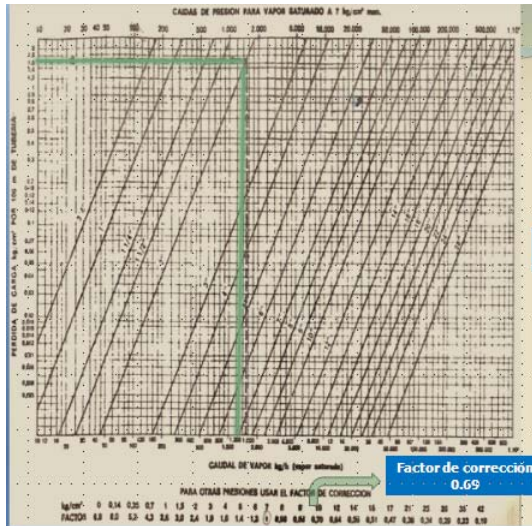


Figura 4. Diámetro vs Caída de Presión

5.3 Tuberías de Retorno de Condensado.

Se debe encontrar la velocidad permisible en ft/min por cada 100 lb/h.

$$V_{\text{sistema}} = V_{\text{permisible}} * 100/\text{caudal condensado}$$

Con el dato de la presión del vapor y la presión de retorno, se ingresa al diagrama para encontrar el factor de escala. La velocidad obtenida se la divide para el factor de escala, para así hallar el valor final de la velocidad en ft/min por cada 100 lb/h.

Con el valor de la velocidad corregida se entra a la figura 6 para encontrar el punto de intercepción que forme con el dato de la presión de vapor y así tomando nota del diámetro de la tubería, Si el diámetro se encuentra entre dos de esta líneas se deberá tomar el inmediato superior.

A continuación se calcula la caída de presión empleando la figura 5 para dicho efecto, se entra al diagrama por la parte derecha con el caudal de condensado, luego hay que desplazarse horizontalmente hasta interceptar la línea inclinada correspondiente al diámetro de la tubería escogida anteriormente. A partir de este punto de intercepción es necesario desplazarse verticalmente hacia arriba para leer la caída de presión por cada 100 metros de tubería.

Luego hay que multiplicar esta caída de presión por la longitud de tubería recta, para recorridos bastantes rectos es recomendable tomar un 10% más de longitud para incluir en los cálculos las caída de presión debidas a los accesorios, (válvulas, codos, etc.).

Si la suma de caída de presión en cada uno de los tramos de tubería resulta superior a la máxima permisible, se deberían repetir los pasos a base de velocidades inferiores por lo que se tendría que aumentar el diámetro de la tubería.

Los caudales de vapor son los siguientes considerando los rangos de caída de presión de 0.05 a

0.1 kg/cm² y tomando un factor de 2 ya que esto nos da mayor confiabilidad y con una velocidad de 5000 ft/min en el sistema.

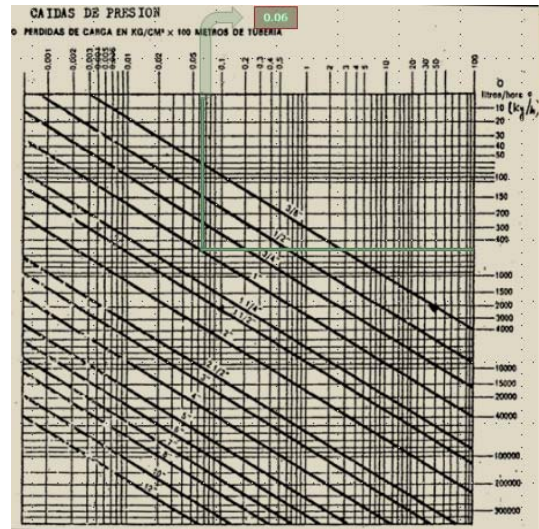


Figura 5. Diagrama Caudal vs. Caída de Presión (Pérdidas de Carga.)

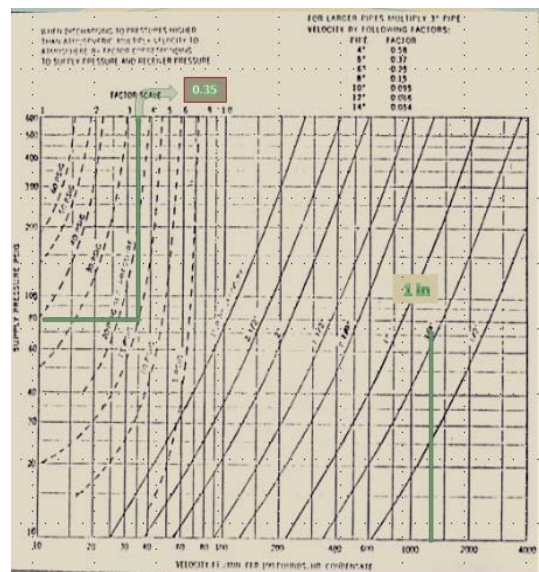


Figura 6. Velocidad Corregida vs Diámetro.

6. Aislamiento de Tuberías

El aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Los aislamientos térmicos de buena calidad son costosos, pero se lo debe de realizar para obtener una gran eficiencia del vapor y a la vez ahorrar energía.

Una tubería sin aislar o mal aislada, aparte de las pérdidas de energía, ocasiona problemas mecánicos por el incremento de condensados

Para dimensionar el espesor de los aislamientos se determina la presión a trabajar de cada línea de vapor. Como la línea de vapor principal tiene mayores a

10.25 kg/cm², las líneas de retorno de condensado son menores a 1.5 kg/cm²

Por medio de la tabla 2 se determina el espesor.

Tabla 2. Espesor de Aislamiento

Diámetro de la Tubería (in)	Presión de Vapor (kg/cm ²)	
	Hasta 1.5	De 1.5 hasta 14
	Espesor del aislamiento (in)	
0.5-1	1	1.5
1.25-1.5	1.5	1.5
2 o más	1.5	2

7. Trampas de Vapor

La mayoría de las trampas para vapor funcionarán siempre que las condiciones de trabajo estén dentro de los rangos de presión y capacidad que posee la trampa, pero en un sistema de drenaje correcto, la idea es que la trampa además maximice la eficiencia y capacidad del equipo de proceso. Una trampa mal escogida puede resultar en baja eficiencia.

Las trampas de vapor son muy diversificadas, por lo tanto al seleccionar la trampa adecuada es un asunto bastante delicado, hay que tener en consideración algunos parámetros los cuales se citan a continuación.

- Cantidad de condensado que debe separar la trampa.
- Presión diferencial entre la entrada y la salida de la trampa.

Para seleccionar la trampa se tiene que calcular con la capacidad de condensado al doble de su régimen, el factor de seguridad ya vienen especificado para cada tipo de trampa, y la presión diferencial ya esta especificada en cada equipo. Para la planta de vapor se usan trampas para recalentadores e intercambiadores las cuales son del tipo flotador termostática.

Tabla 3. Factores de Seguridad para Trampas de Vapor

Tipo de Trampa	Factor de Seguridad
Trampas termostática	2 a 4
Trampa de expansión líquida	2 a 4
Trampa de flotador y termostática	1.5 a 2.5
Trampas termodinámicas	1.2 a 2
Trampas de balde	2 a 4

8. Conclusiones y Recomendaciones

Para los equipos que requieren vapor, la demanda de vapor es de 83.44 C.C, por lo cual se decidió adquirir dos Calderas de 60 C.C por factores de mantenimiento en la planta ó fallas de algunos de los equipos.

Las tuberías a usar tanto para vapor como en el retorno de condensado son las de acero de cédula 40

Para las tuberías de vapor y retorno de condensado, el material aislante más adecuado es la lana de vidrio rígida, ya que esta depende de los diámetros y espesores dependiendo de la tubería.

El agua de alimentación debe estar a una temperatura lo más alta posible con la finalidad de evitar problemas de dilatación, contracciones y choques térmicos en la caldera

Para evitar problemas de corrosión, incrustaciones, espumeo y arrastre, el agua de alimentación deberá ser analizada periódicamente y tratada con un ablandador para disminuir su dureza.

Las Trampas de Vapor deben de tener un filtro antes de las mismas, para evitar que impurezas obstruyan su funcionamiento, y que estos filtros sean limpiados periódicamente.

Para controlar la eficiencia de la caldera, es aconsejable realizar un análisis a los gases de escape cada seis meses.

9. Referencias Bibliográficas

1. Donlee Technologies, Feedwater system (catálogo). Donlee Technologies Inc, NY.
2. Fox W. Robert / Mc Donald Alan. Introducción A La Mecánica De Fluidos, 4ta Edición, Mcgraw-Hill. México 1995
3. La Llave S.A. Catálogos De Productos
4. Maquinarias Henriques C.A. Catálogos De Productos
5. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (Magap)
6. Selmec. Catálogos de Calderas Cleaver Brooks.
7. Simon Andrew L, Hidráulica Práctica, Editorial Limusa, México 1986
8. Spirax Sarco. Catálogos de Productos
9. Tetra Pack Processing Systems ab. "Manual de Industrias Lácteas". 1era Edición, 2003
10. Vargas Zúñiga Ángel, Calderas Industriales y Marinas, Editorial Series Vz, 2da Edición, Guayaquil 1996.
11. www.cleaverbrooks.com