



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Proyecto técnico previo a la obtención del título de Ingeniería
Industrial**

TEMA

*“Diseño de un sistema de distribución de vapor para una industria
panificadora de Guayaquil”.*

TITLE

*“Design of a steam distribution system for a bakery industry in
Guayaquil”.*

Autores:

Ronald Aurelio Tapia Villamar.

Jorddy Hernán Luna Cabrera.

Director: Ing. Armando Fabrizzio López Vargas.

Guayaquil, abril 2019

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Ronald Aurelio Tapia Villamar y Jorddy Hernán Luna Cabrera, declaramos que somos los únicos autores de este trabajo de titulación titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR PARA UNA INDUSTRIA PANIFICADORA DE GUAYAQUIL**”. Los conceptos aquí desarrollados, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ronald Aurelio Tapia Villamar

C.I. 0931250013

Jorddy Hernán Luna Cabrera

C.I. 0931078638

DECLARACION DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quien suscribe, en calidad de autor del trabajo de titulación titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR PARA UNA INDUSTRIA PANIFICADORA DE GUAYAQUIL**”, por medio de la presente, autorizo a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.

Ronald Aurelio Tapia Villamar

C.I. 0931250013

Jorddy Hernán Luna Cabrera

C.I. 0931078638

DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **ING. ARMANDO FABRIZIO LÓPEZ VARGAS** en calidad de director del trabajo de titulación titulado “**Diseño de un sistema de distribución de vapor para una industria panificadora de Guayaquil**”, desarrollado por los estudiantes **RONALD AURELIO TAPIA VILLAMAR** y **JORDDY HERNÁN LUNA CABRERA**, previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana. En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de alto valor académico.

Dado en la ciudad de Guayaquil, abril del 2019

ARMANDO FABRIZIO LÓPEZ VARGAS
Docente Director del Proyecto Técnico

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a Dios, a mis padres Blanca Rosa Villamar Rosero y Eugenio Tapia que siempre han sido y serán los pilares fundamentales para mi superación diaria ya que todo lo que he logrado ha sido gracias ellos, a mis hermanos que me brindan su apoyo incondicional en todo lo que me he propuesto a lo largo de mi vida.

A una persona muy especial que ha estado conmigo en casi todo este proceso de superación personal y profesional, mi amada Michelle Estefanía Rueda Moyota.

A mi compañero de tesis y todas las personas que formaron parte de esta travesía.

Ronald Aurelio Tapia Villamar

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Geovanny Hernán Luna Sinchez y Janeth Silvia Cabrera García que siempre estuvieron a poyándome incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional.

A mi hermana, compañero de tesis y demás compañeros de la universidad por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

Jorddy Hernán Luna Cabrera

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por los padres maravillosos que me dio ya que gracias a su apoyo y amor incondicional pude lograr una de mis tantas metas propuestas.

Agradezco a todos mis seres queridos que estuvieron conmigo para lograrlo, mis compañeros de clase ya que juntos fuimos escalando poco a poco y llegamos a la meta, al Ing. Mec. Armando López por su excelente trabajo siendo el tutor de este proyecto por toda su comprensión, el tiempo y dedicación que nos brindó para completarlo.

A mis ex compañeros de trabajo que me guiaron en el proyecto en especial al Ing. Mec. Edward Díaz ya que gracias a sus conocimientos en el área pude aclarar todas mis interrogantes y así finalizar este grandioso proyecto.

Por último, pero no menos importante a esta hermosa institución por abrirnos las puertas para convertirnos en grandes profesionales y grandes personas.

Ronald Aurelio Tapia Villamar

AGRADECIMIENTO

Dios, tu amor no tiene fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultados de tu ayuda y cuando caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores para que mejore como ser humano.

Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido, a la cual agradezco a la Universidad por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi carrera, también a mi Asesor de Tesis por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, y tenerme la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Gracias a mi Dios, a mis padres por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mi persona.

Y para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad ya que gracias a su apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

Jorddy Hernán Luna Cabrera

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD | ii |
| DECLARACION DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR..... | iii |
| DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO..... | vii |
| AGRADECIMIENTO..... | viii |
| ÍNDICE GENERAL..... | ix |
| ÍNDICE TABLAS | xii |
| ÍNDICE FIGURAS | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xv |
| ABREVIATURAS..... | xvi |
| RESUMEN | xviii |
| ABSTRACT | xix |
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| CAPÍTULO I..... | 4 |
| 1. EL PROBLEMA | 4 |
| 1.1. Antecedentes | 4 |
| 1.2. Problema de la investigación | 5 |
| 1.2.1. Formulación del problema..... | 5 |
| 1.3. Objetivos de la investigación | 5 |
| 1.3.1. Objetivo general | 5 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 5 |
| 1.4. Justificación | 6 |
| CAPÍTULO II..... | 7 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 7 |
| 2.1. Estado de arte | 7 |
| 2.2. Fundamentación teórica | 8 |
| 2.2.1. Caldera | 8 |
| 2.2.1.1. Tipos de Caldera..... | 10 |
| 2.2.1.2. Partes de una Caldera | 14 |
| 2.2.2. Combustión | 15 |
| 2.2.3. Transferencia de Calor | 17 |

| | | |
|--------------------------|---|-----------|
| 2.2.3.1. | Vapor de Agua..... | 18 |
| 2.2.4. | Tipos de Vapor | 20 |
| 2.2.4.1. | Vapor saturado..... | 20 |
| 2.2.4.2. | Vapor húmedo | 20 |
| 2.2.4.3. | Vapor sobrecalentado | 21 |
| 2.2.4.4. | Vapor Flash o Instantáneo | 22 |
| 2.2.4.5. | Distribución de Vapor | 23 |
| 2.2.5. | Partes del sistema de distribución..... | 24 |
| 2.2.5.1. | Trampas de vapor | 25 |
| 2.2.5.2. | Trampas termodinámicas | 26 |
| 2.2.5.3. | Trampas de Balde Invertido | 28 |
| 2.2.5.4. | Trampas de Flotador & Termostática | 30 |
| 2.2.5.5. | Trampas Bimetálicas | 31 |
| 2.2.6. | Retorno de condensado | 32 |
| 2.2.7. | Accesorios de una distribución de tubería..... | 34 |
| 2.2.7.1. | Tuberías | 34 |
| 2.2.7.2. | Codos | 35 |
| 2.2.7.3. | Tipos de codos | 36 |
| 2.2.7.4. | Características..... | 36 |
| 2.2.7.5. | Tés..... | 36 |
| 2.2.7.6. | Tipos | 37 |
| 2.2.7.7. | Características..... | 37 |
| 2.2.7.8. | Reducciones | 38 |
| 2.2.7.9. | Tipos y características | 38 |
| 2.2.8. | Parámetros para el diseño de un sistema de distribución de vapor en la industria panificadora | 38 |
| 2.2.8.1. | Factores que influyen en la selección de la caldera | 39 |
| 2.2.8.2. | Parámetros de control de la caldera | 40 |
| 2.2.8.3. | Parámetros para el diseño del sistema de combustible | 47 |
| 2.2.8.4. | Sistema de alimentación de agua | 48 |
| 2.2.8.5. | Tratamiento de ablandamiento de agua | 49 |
| CAPÍTULO III..... | | 51 |
| 3. | MARCO METODOLÓGICO..... | 51 |
| 3.1. | Diseño de la investigación..... | 51 |

| | | |
|--|---|------------|
| 3.2. | Tipos de investigación | 51 |
| 3.3. | Universo y muestra | 52 |
| 3.4. | Métodos, técnica e instrumentos de investigación..... | 53 |
| 3.5. | Análisis de resultados | 53 |
| CAPÍTULO IV | | 62 |
| 4. | PROPUESTA DE SOLUCIÓN..... | 62 |
| 4.1. | Cálculo y definición de requerimientos de vapor | 62 |
| 4.1.1. | Aplicación del vapor en la industria panificadora | 62 |
| 4.1.2. | Cálculo del consumo de vapor de los equipos..... | 64 |
| 4.1.3. | Selección de la caldera | 77 |
| 4.2. | Cálculo del sistema de alimentación de agua | 77 |
| 4.2.1. | Cálculo de la capacidad de agua | 79 |
| 4.2.2. | Capacidad y disensión del tanque de agua | 80 |
| 4.2.3. | Cálculo y selección de bombas de agua | 82 |
| 4.3. | Cálculo del sistema de combustible a la caldera | 85 |
| 4.3.1. | Cálculo del consumo de combustible | 85 |
| 4.3.2. | Cálculo y dimensionamiento del tanque diario | 86 |
| 4.3.3. | Cálculo y dimensionamiento del tanque principal | 87 |
| 4.3.4. | Cálculo y selección de la bomba de combustible | 88 |
| 4.4. | Cálculo y dimensionamiento de las líneas de vapor y condensado | 90 |
| 4.4.1. | Criterios en la selección de tuberías de vapor | 90 |
| 4.4.2. | Distribución de la tubería de vapor | 92 |
| 4.4.3. | Cálculo y dimensionamiento de las tuberías de vapor | 94 |
| 4.4.4. | Distribución de las tuberías de retorno de condensado..... | 115 |
| 4.4.5. | Cálculos y dimensionamiento de las tuberías de vapor de retorno de condensado | 118 |
| 4.4.6. | Parámetros para el diseño de las trampas de vapor..... | 121 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 134 |
| Conclusiones | | 134 |
| Recomendaciones | | 137 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 139 |
| ANEXOS | | 142 |

ÍNDICE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Ventajas y desventajas de las calderas pirotubulares | 11 |
| Tabla 2. Ventajas y desventajas de las calderas pirotubulares | 14 |
| Tabla 3. Propiedades del Vapor Saturado | 20 |
| Tabla 4. Tamaño de tuberías..... | 35 |
| Tabla 5. Sistema de control de nivel | 45 |
| Tabla 6. Nivel de instrucción..... | 53 |
| Tabla 7. Implementación de un sistema de vapor para la industria | 54 |
| Tabla 8. Se realizan estudios para medir la distribución de tuberías de vapor | 55 |
| Tabla 9. Cuáles son las calderas más apropiadas para la generación de vapor | 56 |
| Tabla 10. Posee conocimiento de las normadas de calidad de la empresa panificadora | 57 |
| Tabla 11. Conoce de las políticas de productividad de la empresa | 58 |
| Tabla 12. Participa en talleres de prácticas de manufactura y diseños de tuberías dentro de la empresa o fuera de ella..... | 59 |
| Tabla 13. Consumo total de vapor | 76 |
| Tabla 14. Características del sistema de alimentación de agua | 81 |
| Tabla 15. Presiones aproximadas de descarga de bombas de alimentación | 83 |
| Tabla 16. <i>Diámetros para tanques de combustibles según su capacidad</i> | 86 |
| Tabla 17. Distancias a puntos de consumo | 95 |
| Tabla 18. Caudales de vapor..... | 96 |
| Tabla 19. Diámetros de las tuberías de vapor | 115 |
| Tabla 20. Caudales de condensado | 116 |
| Tabla 21. Distancias de los puntos de consumo al tanque de agua de alimentación..... | 118 |
| Tabla 22. Dimensionamiento de tuberías y condensado | 121 |
| Tabla 23. Factores de seguridad para trampas de vapor | 127 |
| Tabla 24. Guía de selección de trampas de vapor | 128 |
| Tabla 25. Caudales de condensado | 129 |

ÍNDICE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Caldera tubular de retorno horizontal | 9 |
| Figura 2. Caldera de dos pasos | 9 |
| Figura 3. Calderas acuotubulares..... | 13 |
| Figura 4. Caldera acuotubular | 13 |
| Figura 5. Relación Presión- Temperatura del Agua y Vapor | 21 |
| Figura 6. Descarga de trampa de vapor..... | 22 |
| Figura 7. Representación esquemática de un sistema de vapor..... | 23 |
| Figura 8. Sistema de distribución tradicional | 25 |
| Figura 9. Ciclo de operación de una trampa termodinámica..... | 27 |
| Figura 10. Ciclo de operación de una trampa de balde invertido | 29 |
| Figura 11. Ciclo de operación de una trampa de flotador & termostática | 30 |
| Figura 12. Vista interna de una trampa bimetálica | 31 |
| Figura 13. Vista de las tres líneas de secado de producto al interior de la cámara de vacío | 32 |
| Figura 14. Conexiones de alimentación de vapor y descarga de condensado de una bandeja de secado | 33 |
| Figura 15. Gráfica para el dimensionamiento de tuberías de retorno de condensado | 34 |
| Figura 16. Codos..... | 35 |
| Figura 17. TES..... | 37 |
| Figura 18. Información de las luces indicadoras | 43 |
| Figura 19. Factores para los controles de nivel agua | 44 |
| Figura 20. Sistemas de control según su tipo | 45 |
| Figura 21. Cálculo de la muestra | 52 |
| Figura 22. Nivel de instrucción | 54 |
| Figura 23. Implementación de un sistema de vapor para la industria..... | 55 |
| Figura 24. Se realizan estudios para medir la distribución de tuberías de vapor | 56 |
| Figura 25. Cuáles son las calderas más apropiadas para la generación de vapor..... | 57 |
| Figura 26. Posee conocimiento de las normadas de calidad de la empresa panificadora | 58 |
| Figura 27. Conoce de las políticas de productividad de la empresa | 59 |

| | |
|---|-----|
| Figura 28. Participa en talleres de prácticas de manufactura y diseños de tuberías dentro de la empresa o fuera de ella | 60 |
| Figura 29. Sistema de distribución de vapor en la industria panificadora (ejemplo) . | 63 |
| Figura 30. Temperatura de agua en relación a la presencia de oxígeno | 78 |
| Figura 31. Sistema de alimentación de agua | 79 |
| Figura 32. Selección de bombas de acuerdo al flujo y presión requerida..... | 90 |
| Figura 33. Esquema general de la Distribución de la tubería de vapor | 93 |
| Figura 34. Diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor..... | 97 |
| Figura 35. Diagrama para caídas de presión en tuberías Sch-40..... | 98 |
| Figura 36. Esquema general de la Distribución de la tubería de retorno de condensado | 117 |
| Figura 37. Diagrama para caídas de presión en tuberías de condensado | 119 |
| Figura 38. Trampa de balde invertido..... | 123 |
| Figura 39. Trampa de vapor de flotador y termostática | 123 |
| Figura 40. Trampa de vapor | 126 |
| Figura 41. Trampas de vapor de flotador termostáticas..... | 130 |
| Figura 42. Rangos de trampas de vapor de flotador termostáticas | 131 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Especificaciones de los equipos de la industria panificadora..... | 142 |
| Anexo 2. Calor específico del chocolate..... | 144 |
| Anexo 3. Especificaciones de capacidad en hornos giratorios..... | 145 |
| Anexo 4. Caldera pirotubular | 146 |
| Anexo 5. Aumento de la eficiencia por precalentamiento de agua de alimentación | 147 |
| Anexo 6. Capacidad mínima de almacenamiento..... | 148 |
| Anexo 7. Tabla de vapor saturado | 151 |
| Anexo 8. Precios de Petroecuador | 152 |
| Anexo 9. Tabla del poder cilíndrico Diesel oíl..... | 153 |
| Anexo 10. Velocidades recomendadas para dimensionamiento de tuberías..... | 154 |
| Anexo 11. Formato de encuesta | 155 |

ABREVIATURAS

| | |
|---------------------------------|---|
| <i>Kcal/Kg</i> | Kilo calorías por kilogramo |
| <i>Kcal/h</i> | Kilocalorías por hora |
| <i>Kg/cm²</i> | Kilogramos por centímetro cuadrado |
| <i>Kg/m³</i> | Kilogramos por metros cúbico |
| <i>Kg/h</i> | Kilogramos por hora |
| <i>Km/h</i> | Kilómetros por hora |
| <i>lb/h</i> | Libras por hora |
| <i>m/s</i> | Metros por segundo |
| <i>ft</i> | pies |
| <i>pie/min</i> | Pie por minuto |
| <i>pies/s</i> | Pies por segundo |
| AMBA | American Boiler Manufacturing Association (Asociación Americana de Manufactura de Caldera). |
| API | American Petroleum Institute (Instituto Americano de Petróleo) |
| ASME | American Society of Mechanical Engineering (Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos). |
| ASTM | American Society for Testing Materials (Sociedad Americana de Pruebas de Materiales). |
| BHP (CC) | Boiler Horse Power (Caballos de caldera.) |
| CD | Trampa de disco controlado |
| CEN | Comité Europeo de Normalización |
| cm. | Centímetros |

| | |
|-----------------------------------|---|
| DIN | Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización). |
| EIA | Estudio de Impacto Ambiental |
| ERW | Electric Resistance Welding (Soldadura por Resistencia Eléctrica) |
| F&T | Trampa de flotador y termostática |
| Gal. | Galones |
| GPH | Galones por hora |
| GPM | Galones por minuto |
| LPH | Litros por hora |
| m. | Metros |
| mm. | Milímetros |
| °C | Grados Celcius |
| °F | Grados Fahrenheit |
| °K | Grados Kelvin |
| Ppm | Partes por millón |
| PSI | Pound Saqure inches (Libras sobre pulgada cuadrada) |
| <i>lb/pulg²</i> | |
| Quim. | Química |
| Sch. | Schedule, cédula o espesor de tubería. |
| Seg. | segundos |
| CO₂ | Dióxido de carbono. |

RESUMEN

El presente proyecto se basó en el diseño de un sistema de distribución de vapor para una industria panificadora de la ciudad de Guayaquil. En este caso, se identificó que las aplicaciones de vapor en el proceso de producción de la industria se direccionan principalmente al mejoramiento de la calidad del producto, dado que, al suministrar vapor durante la cantidad de tiempo adecuada, se aporta un aspecto más brillante al producto y a su vez ayuda a que exista una mejor conservación, puesto que mantiene su aspecto y aroma por más tiempo. Desde esta perspectiva, la empresa que fue seleccionada para el desarrollo del presente estudio carecía de un sistema de distribución de vapor, por lo que se identificó la necesidad de realizar los respectivos cálculos para determinar la demanda de vapor requerida en la industria y diseñar la red de distribución de vapor que abastezca los diferentes equipos que se utilizan en la industria de una manera más eficiente. Para obtener la información necesaria, se trabajó con un tipo de investigación de campo y descriptiva, considerando como muestra de estudio a 94 trabajadores de la industria panificadora en la ciudad a quienes se les aplicó encuestas para conocer su percepción con respecto a la necesidad de implementar sistemas de distribución de vapor en la industria local. A partir de los resultados obtenidos, se realizó la propuesta de solución en la cual se describieron los requerimientos de vapor de los equipos, a partir de lo cual se determinó el uso de una caldera de 100 CC, además se describieron los controles de la caldera, el cálculo de combustible de la caldera, el sistema de agua de alimentación, el dimensionamiento de las líneas de vapor y condensado y las trampas de vapor.

Palabras claves: Sistema de vapor, sector panificador, calderas, consumo de vapor.

ABSTRACT

The present project was based on the design of a steam distribution system for a bakery industry in the city of Guayaquil. In this case, it was identified that the steam applications in the production process of the industry are directed mainly to the improvement of the quality of the product, since, by supplying steam during the appropriate amount of time, a brighter aspect is added to the product and in turn helps to have a better conservation, since it maintains its appearance and aroma for longer. From this perspective, the company that was selected for the development of this study lacked a steam distribution system, so it was identified the need to perform the respective calculations to determine the steam demand required in the industry and design the network of steam distribution that supplies the different equipment used in the industry in a more efficient way. To obtain the necessary information, we worked with a type of field and descriptive research, considering as sample of study 94 workers of the bakery industry in the city to whom surveys were applied to know their perception regarding the need to implement steam distribution systems in the local industry. Based on the results obtained, the solution proposal was made in which the steam requirements of the equipment were described, from which the use of a 100 CC boiler was determined, as well as the boiler controls were described, the fuel calculation of the boiler, the feed water system, the sizing of the steam and condensate lines and the steam traps.

Keywords: Steam system, bakery sector, boilers, steam consumption.

INTRODUCCIÓN

A nivel industrial, las empresas tratan de mantener óptimos procesos en sus actividades productivas como una forma de garantía para lograr obtener los resultados esperados. Las industrias de productos alimenticios a su vez deben cuidar de que todos los procedimientos no solo en la gestión de entrega del producto final al cliente se gestione oportunamente, sino que es fundamental el contar con sistemas a nivel productivo sean acordes a los requerimientos de la empresa y más que nada de los clientes finales.

Cabe mencionar que las aquellas industrias dentro del sector alimenticio con muchos años de experiencia en el mercado, son conscientes de la importancia en contar con sistemas internos que complementen y contribuyan en la gestión productiva de forma oportuna, así como prestan mucha atención e invierten para que estos sistemas se mantengan lo más eficientes posibles. Sin embargo, cabe mencionar que para aquellas empresas e industrias nuevas o que buscan actualizar ciertos sistemas, suele resultar un reto debido a una serie de consideraciones previas que se deben tomar desde el punto de vista técnico y práctico.

Entre los sistemas que tienen importante incidencia dentro de las industrias alimenticias y particularmente en industrias panificadoras ya entrando en contexto, los sistemas de distribución de vapor garantizan mantener la calidad de la producción de los productos, optimizando los tiempos productivos, mejor control en la cadena productiva y generación de resultados favorables en cuanto a la entrega y satisfacción de los clientes que son para quienes se trabajan. Por ello, la importancia que toma el contar con un eficiente sistema de vapor para industrias de este tipo, más allá de los beneficios internos, se traduce en el aprovechamiento de aplicar mejoras en la distribución y comercialización de los productos hacia el mercado, teniendo tiempos de respuestas favorables de un mercado cada vez más competitivo.

Por este motivo, el presente trabajo se centra en el diseño de un sistema de distribución de vapor para la industria panificadora de Guayaquil, frente al deterioro que pueden evidenciarse en las líneas de vapor y accesorios que son parte de estos sistemas de trampa que cumplen con una importante función en el área de cocina y

esterilizado, partiendo para esto de un estudio técnico con lo cual se harán las selecciones adecuadas de todo lo que conlleva el sistema de distribución de vapor.

El presente proyecto se desarrolla a través de varios capítulos, dentro de los cuales se desarrollan puntos esenciales en los que se explica de manera teórica y en la práctica, lo que abarca el diseño de un sistema de distribución de vapor para la industria panificadora, los cuales se detallan a continuación de manera breve:

Dentro del capítulo I, se desarrolla el problema, en el cual se describen además los antecedentes previos, el problema como tal, los objetivos y justificación del proyecto.

En el capítulo II se estructura el marco teórico, en el mismo se detalla el estado de arte que consiste en una recopilación de trabajos referentes similares, además de encontrará la fundamentación teórica de varios temas y conceptos respectivamente citados.

Dentro del capítulo III se define el marco metodológico, en el mismo se encuentra definido el diseño, tipo, métodos, técnicas e instrumentos de investigación, así como el universo y muestra de la cual se obtuvo y realizó el posterior análisis de los resultados. Un breve resumen de cómo estará constituido el sistema de distribución de vapor

Dentro del capítulo IV se establecen los cálculos y definición de los requerimientos del vapor de la empresa como tal, el dimensionamiento de todos los ramales de tuberías ya sea de vapor y de retorno de condensado, así como, los cálculos fundamentales para la elección idónea de las bombas de combustible y agua respectivamente.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En la actualidad las empresas panificadoras que mantienen el uso de maquinarias para abastecerse en la producción optan por diseñar e implementar sistemas que permitan extender la durabilidad de sus maquinarias, El presente proyecto, se orienta a realizar una valoración y proposición de diseño del sistema de la red de distribución de vapor para una empresa panificadora de la ciudad de Guayaquil.

Dentro de la industria alimenticia, la eficiencia energética es un punto muy importante ya que los procesos en general de la empresa dependen de la energía térmica el cual ha ido innovando en con el pasar de los años y a su vez repotenciando su nivel de producción.

El caldero como tal es un pilar importante para el sustento de la industria, tal como sucede en los procesos productivos que una empresa panificadora lleva a cabo, por tal motivo, la calidad de vapor que suministra debe ser la adecuada, con la finalidad de que los equipos que utilizan el vapor generado, funcionen de una manera eficiente.

Es necesario mantener un diseño apropiado de las redes de distribución, con el fin de garantizar el buen funcionamiento de los equipos que requieren de consumo de vapor, un factor muy importante en los sistemas de distribución son las trampas de vapor y el aislamiento térmico [1], los mismos que deben ser ubicados correctamente para cada una de las aplicaciones y así mantener una alta eficiencia en el sistema. Los cálculos respecto al análisis de pérdidas de energía térmica, permitirán diseñar el sistema de la red de distribución de vapor, la finalidad del mismo será mejorar los procesos internos de la empresa como tal.

El presente proyecto presentará un diseño de una nueva red de distribución de vapor la cual abastecerá diferentes maquinarias de una manera más eficiente.

1.2. Problema de la investigación

La presente investigación va a ser aplicada para mejorar la calidad en la producción de los productos que esta empresa elabora y que al ser aplicada correctamente ayudará a acelerar procesos en la producción y facilitará el control a lo largo de la cadena de producción, distribución y comercialización.

La principal función en el área de calderos es la generación y distribución de vapor, pero el principal problema que se evidencia es el deterioro de las líneas de vapor y accesorios que componen el sistema de trampeo que tienen como fin satisfacer la demanda de vapor en el área de cocina y esterilizado.

Por este motivo, se realizará un estudio técnico para realizar la correcta selección del equipo, el dimensionamiento de las tuberías para el nuevo sistema de distribución de vapor con el fin de reducir los costos de producción de vapor y satisfacer de manera eficiente la demanda de vapor para una industria panificadora en la ciudad de Guayaquil.

1.2.1. Formulación del problema

¿Con el desarrollo de un diseño de un sistema de distribución de vapor para una industria panificadora en la ciudad de Guayaquil mejorará la calidad en la producción de sus productos?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de distribución de vapor para una industria panificadora en la ciudad de Guayaquil.

1.3.2. Objetivos específicos

- Calcular la demanda de vapor requerida para la industria panificadora.
- Seleccionar la caldera del sistema generador de vapor.
- Diseñar el sistema de agua de alimentación y combustible del sistema generador de vapor.

- Calcular y distribuir las líneas de tuberías de vapor y retorno de condensado.
- Seleccionar y ubicar las trampas de vapor en el sistema generador de vapor.

1.4. Justificación

En la ciudad de Guayaquil dicha industria panificadora mantiene un control empírico de las presiones y flujos de vapor que se distribuyen a las maquinarias como son: Hornos, Marmitas, Cámaras de fermentación, entre otras.

Una caldera o un generador, tiene la función de producir vapor mediante los procesos de variación de la entalpía del líquido sub-enfriado, con ayuda del proceso de combustión, es decir, al permanecer en su punto de manejo, disipa la entalpía, cediéndola al medio a calefactor, o a su vez, a través de la transformación a energía mecánica [2]. En un sistema de distribución de vapor, se presentan cambios energéticos, generalmente determinados por sus correspondientes pérdidas y ganancias de entalpía, debido al enfriamiento y calentamiento de las fases líquido y vapor, durante el diseño de una red de distribución de vapor, se debe tomar muy en cuenta los cambios de fases, así como, las características y leyes por las que estas gobernadas.

Se considera que el diseño de la red de distribución de vapor en la empresa panificadora, contribuye, de manera resumida, en que:

Los procesos del área de panificado tengan una mejor calidad del vapor con una ubicación más cercana a las estaciones de trabajo donde se obtenga menores pérdidas de energía, un mayor aprovechamiento del vapor, generando una mejor producción, así como también, ahorro económico para la empresa.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado de arte

Según Fonseca, 2011, en su trabajo de investigación titulado “Diseño de la red de distribución de vapor para una lavandería industrial”, planteo como objetivo general describir el diseño de la red de distribución de vapor para una lavandería industrial. Llegando a la conclusión que para poder determinar las especificaciones técnicas de la caldera se deben conocer las condiciones de operación, tanto en la entrada como en la salida de la caldera. Para que con ello se determine la capacidad de generación de vapor que proporcionar la caldera [3].

Según Rodríguez & Rubio, 2014, en su trabajo de investigación titulado “Diseño del sistema de distribución de vapor y Selección del caldero para el Hospital San Juan de Dios”, planteo como objetivo general elaborar un sistema de distribución de vapor y Selección del caldero para el Hospital San Juan de Dios. Llegando a la conclusión que realizar el diseño de una red de vapor para el hospital San Juan de Dios bajo las normas establecidas para una entidad sanitaria, así como también hemos logrado determinar un correcto dimensionamiento de sus calderos punto neurálgico de nuestro diseño [4].

Según Alta & Tualombo, 2016, en su trabajo de investigación titulado “Desarrollo de un modelo de implementación para la certificación de buenas prácticas de manufactura (BPM) en la industria panificadora “la vienesa” ubicada en la ciudad de Riobamba”, planteo como objetivo general diseñar un modelo de implementación de un manual de Buenas Prácticas de Manufactura (B.P.M.) en el área de producción para la certificación de la Industria Panificadora “LA VIENESA”. Llegando a la conclusión que las industrias al tener un personal capacitado en Buenas Prácticas de Manufactura optimizaran recursos y tiempos de acción en cada una de las tareas en cada línea de proceso [5].

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Caldera

Las calderas en correspondencia con el contenido de sus tubos están clasificadas en calderas de tubos de agua acuotubulares y calderas de tubos de fuego o pirotubulares, las calderas acuotubulares suelen ser utilizadas principalmente cuando se requiere de elevadas cantidades de vapor, como por ejemplo, en centrales termoeléctricas, por lo contrario, las calderas pirotubulares son utilizadas en procesos que no necesitan de elevados consumos de vapor, dado que dicho trabajo se centra en su atención en las calderas pirotubulares, debido a que estos equipos suelen ser difundidos en el ámbito industrial en diversas aplicaciones.

La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase. La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas [6].

Las calderas tienen como objetivo el control automático dado que presentan un comportamiento dinámico difícil, dado a sus múltiples entradas y salidas interrelaciones, entre esas variables, así como incertidumbres entre mucho de los procesos que suelen ser presentados, existe una mayor significación en el funcionamiento de las calderas de tubos de fuego, en las cuales se encuentran variaciones de presión de vapor en su cuerpo debido al control de combustión que se realiza mediante la presión del vapor.

La eficiencia de una caldera, en términos simples, representa la diferencia entre la energía que entra y la energía que sale de la caldera, para alcanzar una eficiencia óptima, típicamente se trata de operar las calderas a aproximadamente al 80% de su carga máxima, en aplicaciones que utilizan múltiples calderas y cargas variables,

alcanzar la más eficiente combinación de calderas significa en ocasiones apagar algunas para permitir que otras operen a un ritmo más eficiente [7].

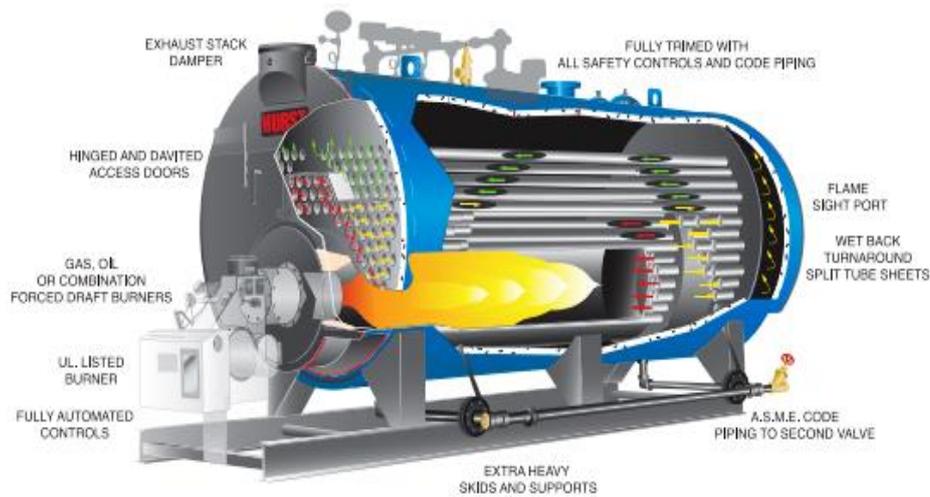


Figura 1. Caldera tubular de retorno horizontal

Fuente: [6].



Figura 2. Caldera de dos pasos

Fuente: [8]

Una evolución paralela de la caldera de tubos de fuego fue la caldera de locomotora diseñada con el horno rodeado por un área de transferencia de calor añadida usando tubos horizontales.

En las calderas de tubos de fuego los gases de combustión fluyen por medio de las paredes de los tubos hacia el agua que los circunda, dado que el vapor suele estar

generado por la transferencia de calor, a través, de las paredes de los tubos hacia el agua, por consiguiente, los gases de combustión son enfriados mientras fluyen a través de los tubos, transfiriendo su calor al agua; por lo tanto, a mayor enfriamiento de los gases de combustión, mayor será la cantidad de calor transferido.

El enfriamiento de los gases de combustión está en función de la conductividad calorífica de los tubos y de sus superficies, de la diferencia de temperatura entre los gases de combustión y el agua de la caldera, del área de transferencia de calor, del tiempo de contacto entre los gases de combustión, de la superficie de los tubos de la caldera, etc. Las calderas piro tubulares usadas hoy en día evolucionan de los primeros diseños de un recipiente de presión cilíndrico o esférico montado sobre el fuego con la llama y los gases calientes alrededor de la carcasa de la caldera [9].

2.2.1.1. Tipos de Caldera

La caldera es el principal equipo generador de vapor, indispensable en las industrias y hospitales, aunque el principio de trabajo de la caldera es muy simple es realmente importante tener conocimiento de la variedad de equipos disponibles en el mercado, para realizar una correcta selección como parte del objeto de este proyecto en base a sus requerimientos [10].

Clasificación de acuerdo a la circulación de los fluidos dentro de los tubos de la caldera.

- Calderas de tubos de fuego o piro tubulares

En este tipo de calderas la llama y los productos de la combustión pasan a través de los tubos de agua caliente, los cuales rodean internamente junto con los bancos de tubos, estos suelen ser manejados por presión de operaciones de 0 a 20 bares. Es por ello que las calderas de tubos de humo o piro tubulares suelen ser representadas como un cilindro compacto de agua, en el cual atraviesa longitudinalmente por un haz de tubos, en donde circula la llama y/o los humos. Los humos y la llama tendrán como principal objetivo pasar por el interior de los tubos de acero los cuales estarán rodeados de agua.

Es importante indicar que las calderas pirotubulares solo pueden generar vapor saturado, una vez que el equipo se encuentra generando vapor, de una forma continúa o no, será necesario reponer el agua que se está consumiendo y es aquí cuando entra en operación por segunda vez control de nivel de agua. Si el nivel de agua baja de manera moderada, este cierra el circuito que energiza la bomba de alimentación de la caldera para reponer el agua [11].

Las calderas pirotubulares poseen una gran eficiencia para la conducción de flujo de calor en los tubos, los cuales requieren de este para la obtención de vapor, por otra parte, poseen características de conducción y convección de calor que representa el diseño de las partes constitutivas de la máquina, tales como la longitud de la caldera, el número de tubos, el espesor de la chapa del cilindro, el diámetro de la caldera, el espesor de los espejos internos y externo, su soldadura, en donde éstos determinarán los cálculos de diseño para seleccionar así los accesorios complementarios como lo es el quemador el control para los niveles de agua, la bomba de abastecimiento de agua, el manómetro, el presostato, el termómetro, los circuitos de agua de electricidad y la válvula de seguridad.

Por su diseño, tienen un gran volumen de agua, por lo que suelen estar la totalidad de las mismas clasificadas en la clase segunda de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Equipos a Presión en su instrucción técnica complementaria ITC EP-1 Capítulo II Artículo 3. Dicho volumen de agua les permite adaptarse mejor a las variaciones de la instalación que las calderas acuotubulares [12].

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las calderas pirotubulares

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|---|
| Menor costo, debido a la simplicidad del diseño | Mayor tiempo para la subida de presión e inicio de funcionamiento |
| Menor exigencia de la pureza en el agua de alimentación | No se deben usarse en las presiones |
| Son mucho más pequeñas y eficientes | Se subdividen en calderas de un solo uno o múltiples pasos |

Elaborado por: Los autores

Las calderas de tubos de humo o piro-tubulares se pueden explicar como un cilindro compacto de agua, atravesado longitudinalmente por un haz de tubos por los que circulan la llama y/o los humos, lógicamente, los humos y la llama pasarán por el interior de los tubos de acero, los cuales estarán rodeados de agua, el gran volumen de agua de estos equipos actúa como un almacén de energía proporcionando una respuesta adecuada para demandas puntuales y una mayor calidad del vapor [13].

Dado a su gran volumen de agua que contienen estos equipos, este actúa como almacén de energía, el cual proporcionará una repuesta adecuada por las demandas puntuales y que exigen una mayor calidad de vapor, esto se logró gracias a la instalación de tubos dentro del recipiente los cuales permitían la circulación de gases calientes, provenientes de la combustión, dando paso u origen de las calderas de tubos de fuego, o piro-tubulares como se las conoce actualmente.

- Calderas Acuotubulares

Generalmente las calderas acuotubulares son tubos de agua medianas o grandes, las cuales están formadas por domos que están interconectados por tubos, teniendo como principal función transportar el agua desde las zonas de absorción de calor hasta el domo, en el cual llega la mezcla de agua-vapor, en donde dichos domos almacenan el agua y el vapor, estos pueden hacerse de diámetros menores que los cascos de las calderas de tubos de fuego o piro-tubulares, lo cual permite incrementar las presiones de trabajo.

Al incrementar la cantidad de tubos dentro del caldero, se puede incrementar la superficie de transferencia de calor, lo cual se puede hacer cuanto se desee (dentro de ciertos límites lógicos de diseño) lo cual permite que estas calderas logren grandes generaciones de vapor, lo cual se ve limitado en las calderas de tubos de fuego [14].



Figura 3. Calderas acuotubulares

Fuente: [15]

Debido a su tamaño las calderas acuotubulares suelen tener carga térmica por la superficie de calefacción superior, lo cual lo hace mucho más sensible a la calidad del agua, partiendo de ahí la normativa vigente, la cual exige las condiciones más restrictivas para el agua de alimentación de dichos equipos.

En este tipo de unidad, los productos de la combustión rodean a los bancos de tubos y el agua circula por el interior de dichos tubos. Manejan presiones de operación de 0-150 bares (0-2200 PSIG) [15].

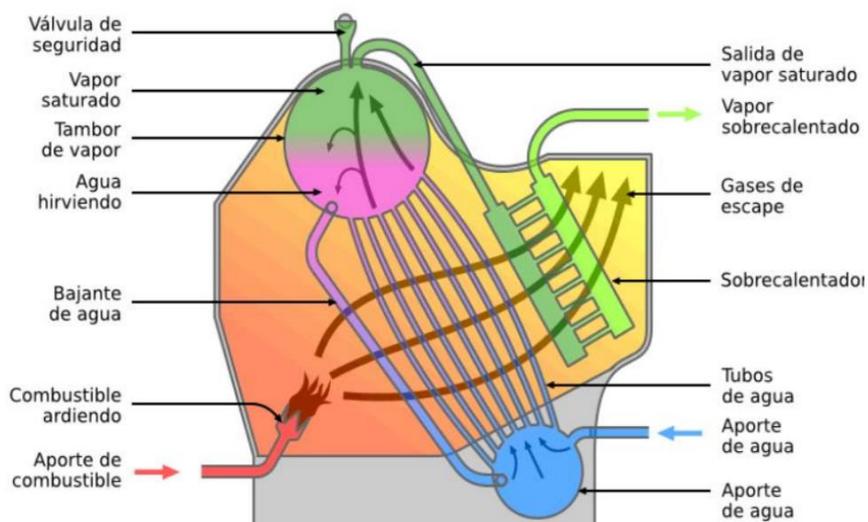


Figura 4. Caldera acuotubular

Fuente: [16]

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las calderas piro tubulares

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|
| Son puestas en marcha rápidamente. | Poseen mayor peso y tamaño. |
| Trabajan a PSI o más. | Son mayor costo. |
| | Debe de ser alimentada con agua de gran pureza |

Elaborado por: Los autores

Cabe recalcar que las exigencias de la calidad de agua que requiere la alimentación de las calderas acuotubulares, suelen ser superiores a lo requerido en otro tipo de calderas, por otra parte, los generadores instantáneos también forman parte de la familia de las calderas acuotubulares.

2.2.1.2. Partes de una Caldera

Domo o calderín: Son de forma cilíndrica y en su interior contienen los dos fluidos tanto de calor y vapor, que hacer que sus dimensiones reducidas doten a los separadores de gotas, los cuales permiten elevar el título de vapor, así como la virola exterior de las calderas acuotubulares, dado que en el domo van las tubuladoras de control, supervisión y servicio.

Cámara de combustión u hogar de combustión: Por lo general, poseen forma de prisma de base rectangular dicha zona está diseñada para la realización de la combustión, tiene delimitación en sus seis lados, por paredes de membrana que a excepción de una de ellas, el resto permanecen estancadas con el paso de los gases de combustión hacia el exterior, la cual no es totalmente estancada es diseñada para que los gases salgan del hogar y así inicien su camino a través de los diversos componentes del circuito de gases de la caldera, además de producir un cambio en la dirección de los gases.

Paredes de membrana: Dichas paredes están formadas en su totalidad por tubos refrigerados por el agua, ayudando a la circulación por su interior, dichos tubos están

unidos entre sí por medio de soldaduras de estanqueidad por el lado de los gases y, a su vez, los colectores son distribuidos de mayor tamaño en el lado del agua.

Tubos de subida y bajada: Son los encargados de llevar los fluidos más calientes a todas las zonas de la caldera al domo, dada a su diferencia de temperatura, mientras que, los tubos de bajada, son los que se encarga de devolver el fluido que se ha estado enfriando desde el domo hacia las zonas de calentamiento.

Evaporadores o tubos de bandera: Pertenecen a los tubos que están ubicados generalmente a contra corriente de los gases, en dónde, se efectúa el intercambio de convección.

Economizadores: Forman parte de los elementos que se instalan en la salida de los gases de las calderas, los cuales, ayudan al aumento de su rendimiento, estos están formados por tubos lisos con aletas, en donde su interior circula el agua para la alimentación de la caldera y por fuera los tubos de gases de combustión a contracorriente, dichos gases son los que ceden y permiten la energía al agua, creando un aumento en su temperatura, el cual, es necesario para un menor consumo de energía produciendo así un kilogramo de vapor que genere el kilovatio.

2.2.2. Combustión

La combustión es una reacción química rápida exotérmica, la cual ayuda a la oxidación de una sustancia y la reducción de otra, dicha reacción química de oxidación es la que generalmente desprende grandes cantidades energía formando así el calor y la luz la cual puede manifestarse visualmente como fuego.

La combustión es una reacción química en la que un elemento combustible se combina con otro comburente (generalmente oxígeno en forma de O₂ gaseoso), desprendiendo calor y produciendo un óxido; 35 la combustión es una reacción exotérmica que produce: calor al quemar, luz al arder [17].

La combustión por lo general es el proceso principal que se realiza en el interior de una caldera, dada que ya es la transformación de energía química a calorífica, liberada

así por la reacción del combustible, que a su vez dicha energía es aprovechada por el agua al ser cambiada de fase y transformarse en vapor.

Pues bien, la combustión se refiere a las reacciones químicas que se establecen entre cualquier compuesto y el oxígeno, a esto también se le llama reacciones de oxidación, de este tipo de proceso se desprenden energía lumínica y calórica y se llevan a cabo rápidamente. Cuando el proceso de combustión se acelera, por ejemplo, aumentando la temperatura se produce una explosión, existen ciertas situaciones en las que se produce combustión sin necesidad de un calentamiento exterior, como es el caso de los cuerpos fácilmente oxidables, en su mayoría malos conductores del calor [17].

Para la producción de combustión es importante que se susciten tres tipos de elementos fundamentales, tales como:

- **Comburente:** Esta sustancia permite reducir, el comburente es el más habitual, dado que es el oxígeno que contiene el aire atmosférico [18].
- **Combustible:** Dicha sustancia es la que reduce, donde el comburente más habitual es el oxígeno, el cual es contenido en el aire atmosférico [18].
- **Temperatura de ignición:** Representa ser lo suficientemente elevada, para así producir el encendido [18].

La casi totalidad de las actividades de nuestra sociedad se basan en el uso de la energía en sus distintas expresiones desde el uso de un vector energético, cómo es la electricidad para la iluminación motores eléctricos y equipos electrónicos hasta el uso de fuentes de energía como son los combustibles sólidos líquidos y gaseosos en la cobertura de nuestras demandas [19].

Por consiguiente, las reacciones básicas de la combustión corresponden a las reacciones de oxidación de carbono y del hidrógeno, mediante el cual el oxígeno puede aportar en forma pura, es decir, por medio de la oxicomustión, o mediante el aporte de aire que contiene en una proporción media del 21%.

2.2.3. Transferencia de Calor

Es el proceso por el cual, se realiza el intercambio de energía, en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre las diferentes partes de un mismo cuerpo que se encuentren a distinta temperatura, la transferencia de calor es proporcionada por métodos de análisis, en el cual pueda utilizarse para así determinar la velocidad de la transmisión de calor, además de la verificabilidad de los parámetros variables durante el proceso que se realiza en función del tiempo.

Desde los inicios de las calderas de tubos de fuego surgieron algunas evoluciones, entre las más destacadas fue la tendencia hacia la disminución del diámetro de los tubos de humo, lo cual, buscaba la incrementación de la velocidad de los gases y el área de la transferencia del calor, con lo cual se logró conseguir una caldera mucho más compacta.

Este vapor se genera a través de la transferencia de calor hacia el fluido, originalmente en fase líquido, se calienta y finalmente se vaporiza; es un recipiente de presión. [20] El calor puede transferirse de un punto a otro por tres métodos distintos: radiación, convección y conducción.

- Radiación: Dicho proceso transmite el calor por medio de ondas electromagnéticas, en formas de ondas, las cuales, son similares a las ondas de la radio y la luz, pasando así libremente por el aire y otras materias transparentes, sin llegar a tener ningún efecto aparente en ellas, algunas de las superficies suelen estar reflejadas a las ondas de calor igual a las que reflejan la luz.

En ningún sistema de producción de calor se puede decir que la transferencia de calor se efectúa por un método en particular, más bien que se efectúa por una combinación de los tres, predominando alguno de ellos de acuerdo al tipo o naturaleza de la aplicación [9].

- **Convención:** Es la transferencia de calor por circulación dentro de un fluido en donde parte de esta caliente, haciendo que la parte caliente se expanda y logre quedarse más liviana que el resto del fluido, dando como resultado la parte más pesada del mismo, es decir, que el volumen del fluido que no se ha podido calentar tienda a hundirse, produciendo que la cantidad de fluido que se ha calentado suba y se produzca la circulación continúa del fluido [9].
- **Conducción:** Es el proceso de transferencia de calor, en donde se produce el contacto térmico entre dos o más cuerpo, los cuales están en contacto directo entre las partículas individuales de su cuerpo que se encuentren en diferentes temperaturas. Por lo general, los sólidos suelen ser los conductores de calor, mejor que los líquidos, mientras que los líquidos son mejores que los gases, esto se basa en la diferencia de estructura molecular que posee, puesto que, las moléculas de los gases al encontrarse muy separadas, tienden a transferirse de calor, haciéndolo de moléculas a moléculas, tornándose un poco más difícil.

Tenemos muchos ejemplos de conducción de calor en la operación de una planta a vapor y entre ellos tenemos el calor de los gases (producto de la combustión) dentro del hogar que llega hasta el agua dentro de la caldera por conducción a través de las paredes metálicas de la caldera y finalmente calienta el agua que está en contacto con el interior de estas paredes [9].

2.2.3.1. Vapor de Agua

Hoy en día el vapor de agua es empleado para la generación de energía beneficiando así a los procesos físicos de la transformación del agua, en estado líquido a gaseoso, por medio de la energía calorífica, en el cual, a través de la combustión de los combustibles que se encuentren en estado sólido, líquido o gaseoso y por medio del uso de las máquinas adecuadas y seguras puedan realizar estos procesos de aprovechamiento.

Se genera cuando se le añade energía calorífica al agua, se necesita añadir suficiente energía para que se eleve la temperatura del agua hasta su punto de ebullición, después

de ello, cualquier energía adicional transforma el agua en vapor, sin un incremento en la temperatura [21].

El aprovechamiento del resultado que es producto de la transformación, puede ser constituida por medio de la energía eléctrica, mecánica, calorífica, entre otras, los mismos que han venido siendo utilizados dentro de las industrias para el desarrollo de la comunidad, esto hace que las técnicas de generación y uso de vapor de agua sean consideradas requisitos importantes dentro del campo de la ingeniería.

Mediante la transferencia de calor, producido generalmente al quemarse un combustible, el que se le entrega al agua contenida o que circula dentro de un recipiente metálica. El vapor de agua se utiliza en los procesos industriales debido a las siguientes razones:

- Para la producción se requiere de abundante agua, además que es fácil de obtener.
- Es muy controlable, en cada presión, en la cual le corresponde una temperatura, por medio de una energía y volumen específico.
- Poseen un alto contenido de energía de acuerdo a la unidad de masa.
- Es de fácil distribución y control.
- El vapor fluye en las líneas de distribución como respuesta a una caída de presión y no necesita bombas para su circulación.
- Los coeficientes de transferencia del calor del vapor son mayores que los del agua.

El vapor suele ser usado por un rango de industrias, en donde las aplicaciones más comunes para el vapor son, por ejemplo, cada uno de los procesos calentados por el vapor, tanto en fábricas y plantas, turbinas que son impulsadas por vapor, entre las principales aplicaciones típicas de vapor para las industrias son:

- Para los procesos.
- Motriz.
- Atomización.
- Limpieza.

- Esterilización/Calentamiento.

2.2.4. Tipos de Vapor

2.2.4.1. Vapor saturado

Es vapor puro a una temperatura igual a la de la ebullición del agua a una presión dada el vapor saturado suele presentarse a presiones y temperatura, en las cuales el vapor, es decir, el gas y el agua, es decir, los líquidos pueden coexistir juntos. Algunas propiedades las cuales lo vuelven una fuente de gran calor en dónde particularmente a temperaturas de 100 °C (212 °F). Algunas de estas son:

Tabla 3. Propiedades del Vapor Saturado

| PROPIEDADES | VENTAJAS |
|--|--|
| Se equilibra el calentamiento, por medio de la transferencia de calor latente y su rapidez. | Mejoramiento en su productividad y calidad del producto. |
| Se controla la temperatura a través de la presión. | La temperatura es establecida de forma rápida y precisa. |
| Se presenta una transferencia de calor debido a su elevado coeficiente. | El área de transferencia de calor requerida es menor. |
| Se origina el agua. | Es seguro, limpio y de bajo costo. |

Fuente: [22]

Elaborado por: Los autores

2.2.4.2. Vapor húmedo

Representa la forma más común del vapor, en la que se logra experimentar en plantas de proceso, cuando el vapor se genera utilizando una caldera, por lo general está contiene humedad, la cual proviene de las partículas de agua no vaporizadas, que suelen estar arrastradas hacia las líneas de distribución de vapor.

Incluso las mejores calderas pueden descargar vapor conteniendo de un 3% a un 5% de humedad. Al momento en el que el agua se aproxima a un estado de saturación

y comienza a evaporarse, normalmente, una pequeña porción de agua generalmente en la forma de gotas, es arrastrada en el flujo de vapor y dirigida a los puntos de distribución [21].

2.2.4.3. Vapor sobrecalentado

El vapor sobrecalentado se origina por el sobrecalentamiento que tiene el vapor saturado o húmedo logrando así alcanzar un punto mayor al de la saturación esto quiere decir que, el vapor se encuentra a una mayor temperatura y menor densidad que el vapor saturado a una misma presión.

El vapor sobrecalentado es usado principalmente para el movimiento e impulso de aplicaciones como son las turbinas.

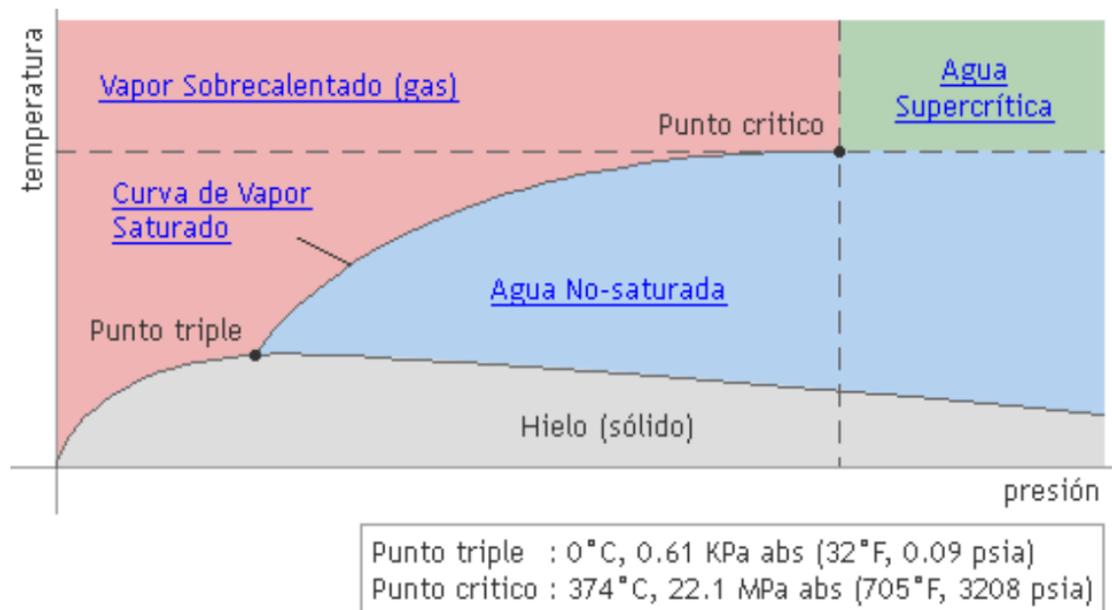


Figura 5. Relación Presión- Temperatura del Agua y Vapor

Fuente: [23]

Los resultados del vapor saturado (seco) cuando el agua tiende a calentarse hasta llegar al punto de ebullición (calor sensible) y después evaporada con calor adicional (calor latente), dicho vapor es posteriormente calentado por arriba del punto de saturación, el cual se convierte en vapor sobrecalentado (calor sensible).

2.2.4.4. Vapor Flash o Instantáneo

Este vapor es formado a partir del condensado caliente, cuando existe una reducción en la presión, el vapor flash no suele ser tan diferente del vapor normal, simplemente es un nombre conveniente, el cual es utilizado para explicar cómo se forma el vapor.

Vapor normal o “vivo” se genera en la caldera, o en un generador de vapor por recuperación de calor, mientras que el vapor flash se genera cuando un condensado de alta temperatura y presión se expone a una gran caída de presión tal como la descarga de una trampa de vapor [24].

El condensado que se presenta en altas temperaturas, posee una gran energía que no permanece en forma líquida a presiones menores, debido a la existencia mayor de energía, la cual es requerimiento para poder obtener agua saturada a menor presión, el resultado es que algo de este exceso de energía genera un condensamiento o un porcentaje de vapor flash.



Figura 6. Descarga de trampa de vapor

Fuente: [22]

Se fundamenta en la observación de la descarga de las trampas de vapor, cuando ésta se realiza a la atmósfera, es decir, cuando no existe recuperación de condensado. El inspector de trampas de vapor debe reconocer entre vapor flash o revaporizado, que es característico en el funcionamiento de trampas, y vapor vivo, presente este último cuando la trampa falla en posición abierta [25].

Aunque este método es efectivo para la inspección de trampas, la desventaja se encuentra en que las trampas tienen que estar descargando a la atmósfera, lo que conlleva pérdidas energéticas y económicas considerables, o requiere la instalación de visores a la descarga de trampas de vapor, lo que aumentaría los costos del sistema de distribución., para salvar esta dificultad existen otros métodos de inspección, que se describen a continuación.

2.2.4.5. Distribución de Vapor

Gracias a las propiedades sobresalientes de la transferencia de calor, el vapor ha sido ampliamente utilizado como un medio de energía, las cuales cuentan con propiedades requeridas por los consumidores individuales en sus sistemas específicos. Es de suma importancia diseñar un sistema de vapor eficiente, el cual evite los desperdicios de vapor y condensado, a su vez que la energía contenida en él, para lo cual es importante realizar una selección adecuada de los diferentes componentes y accesorios del sistema.

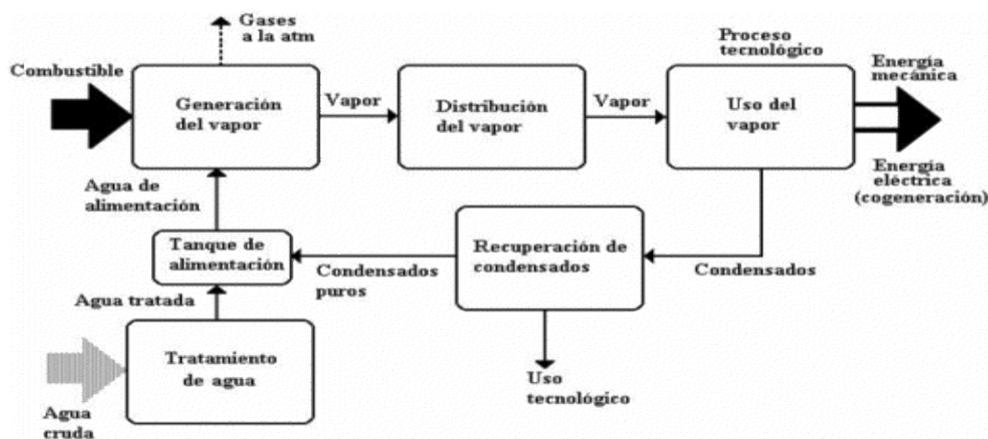


Figura 7. Representación esquemática de un sistema de vapor.

Fuente: [26]

Los sistemas de vapor están compuestos básicamente por tres subsistemas: La generación de vapor; compuesto por la caldera, la distribución; compuesta por tuberías para transportar el vapor del lugar de producción hacia los usuarios, consumidores finales, generalmente equipos o procesos donde se requiere la energía transportada por el vapor y el retorno de condensado desde los procesos hacia la caldera [25].

Es el conjunto o sistemas formados por una caldera y sus equipos complementarios, destinados a transformar agua de estado líquido en estado gaseoso a temperaturas y presiones diferentes de la atmosférica.

2.2.5. Partes del sistema de distribución

Los sistemas de distribución son los encargados de sincronizar las aperturas y los cierres de las válvulas con los movimientos de pistón, mediante dichos sistemas de distribución las válvulas de escape y admisión comienza en abrirse y cerrarse cuando el pistón encuentra el punto determinado, para conseguir dicha apertura y cierre de válvulas es necesario una serie de elementos encargados, transformen al movimiento circular del cigüeñal en un movimiento longitudinal alternativos de las válvulas.

El diseño de la distribución juega un papel importante respecto al rendimiento conseguido por el motor, ya que con este sistema se puede variar el llenado del cilindro y por tanto la presión de combustión, reducir el consumo para una misma potencia y minimizar los gases contaminantes. El momento exacto de apertura y cierre de válvulas, así como el número de grados que permanecen abiertas, es diferente para cada motor; para conseguir las cotas ideales en cada caso se realizan numerosos estudios y pruebas [27].

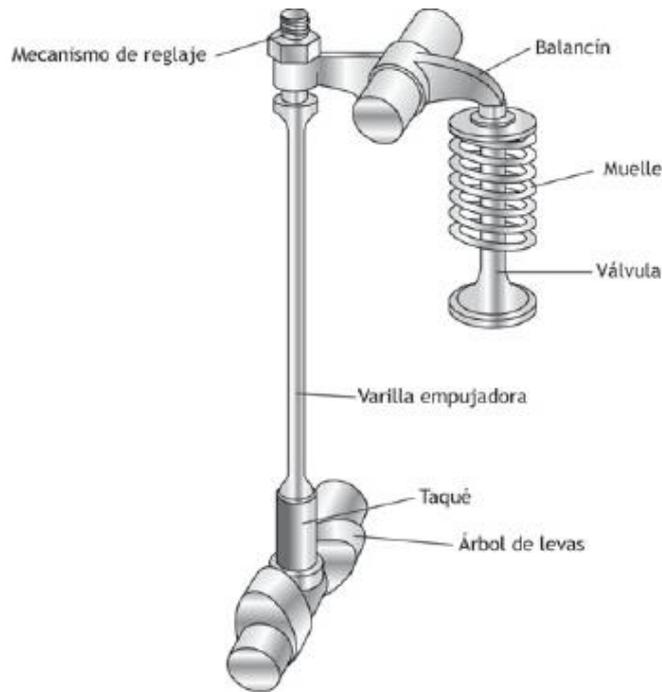


Figura 8. Sistema de distribución tradicional

Fuente: [28]

Independientemente del tipo de distribución que se emplee, siempre se cumplirá con la condición de que para que así lo completó tanto las válvulas de admisión como la cárcel puedan abrirse una única vez, los granos de apertura están determinados tanto por sus formas y dimensiones de las levas, por consiguiente, para que estos se cumplan es necesario que el árbol de levas gire una vuelta por cada a dos vueltas del cigüeñal.

2.2.5.1. Trampas de vapor

El vapor se genera en la caldera y se transportan hasta el punto de consumo final por medio de una red de tuberías, el vapor que se genera es transportado por unas tuberías principales de distribución las cuales existen de menor diámetro de las que transportan el vapor hasta los equipos individuales de consumo.

Al abrir la válvula de la caldera, el vapor de ésta se distribuye de manera rápida por cada una de las tuberías de distribución, las cuales en su primer momento se encuentran fría, por lo que el vapor es transmitido en cierta parte de su energía calorífica, el aire que rodea a dichas tuberías también se encuentra a menor temperatura que el vapor, lo cual el sistema es el primaria calor al aire y conforme se va calentando [24].

Una trampa de vapor es una válvula automática que permite el condensado, el aire y otros tipos de cánceres no condensables sean de estar dotados del sistema, pero sin dejar escapar el vapor, cabe destacar que para cualquier sistema de vapor funcione de manera apropiada se tiene que proceder a eliminar la presencia de los tres principales fluidos que son los encargados de reducir la eficiencia del vapor sea en el área daño dentro del sistema de corrupción o golpe de ariete.

- **Condensado:** se forma en un sistema cuando el vapor de este sabe por completo su calor latente, generando así un cambio de estado, el resultado de dicho condensado el cual debe ser retirado de la zona de intercambio de calor dado que tiende a disminuir la eficiencia y el correcto funcionamiento del equipo [24].
- **Aire:** se encuentra presente en las tuberías de vapor cuando el sistema se encuentra en estado frío, el aire y debe ser eliminado del sistema para que el vapor logre ingresar y así alcanzar las aplicaciones de proceso, por consiguiente, el bloqueo del vapor del aire actúa como una resistencia a la transferencia de calor [24].
- **Gases no condensables:** otros gases distintos al aire como lo es el dióxido de carbono, está presente dentro de los sistemas de vapor, estos gases no condensables también suelen ser removidos del sistema para que todos los procesos operen aproximadamente, para inhibir el flujo de vapor, así como reducir la transferencia de calor, cabe recalcar que el dióxido de carbono puede ser corrosivo para los componentes del sistema [24].

2.2.5.2. Trampas termodinámicas

Las trampas de vapor termodinámicas, operan de manera cíclica, es decir, abierta y cerrada, utilizando propiedades termodinámicas del vapor flash a medida que influye a través de la trampa, el disco es la única parte móvil de estas trampas que permiten el paso condensado, cerrando herméticamente ante la presencia del vapor.

Estas trampas poseen un diseño resistente, el cual utiliza trampas de goteo en la red de vapor, así como en las líneas de suministro, es por ello, que son sólida construcción y su única parte móvil la hace resistente al golpe de ariete. Las trampas termodinámicas descargan pequeñas cantidades de aire, por lo que no son muy utilizadas en aplicaciones del proceso.

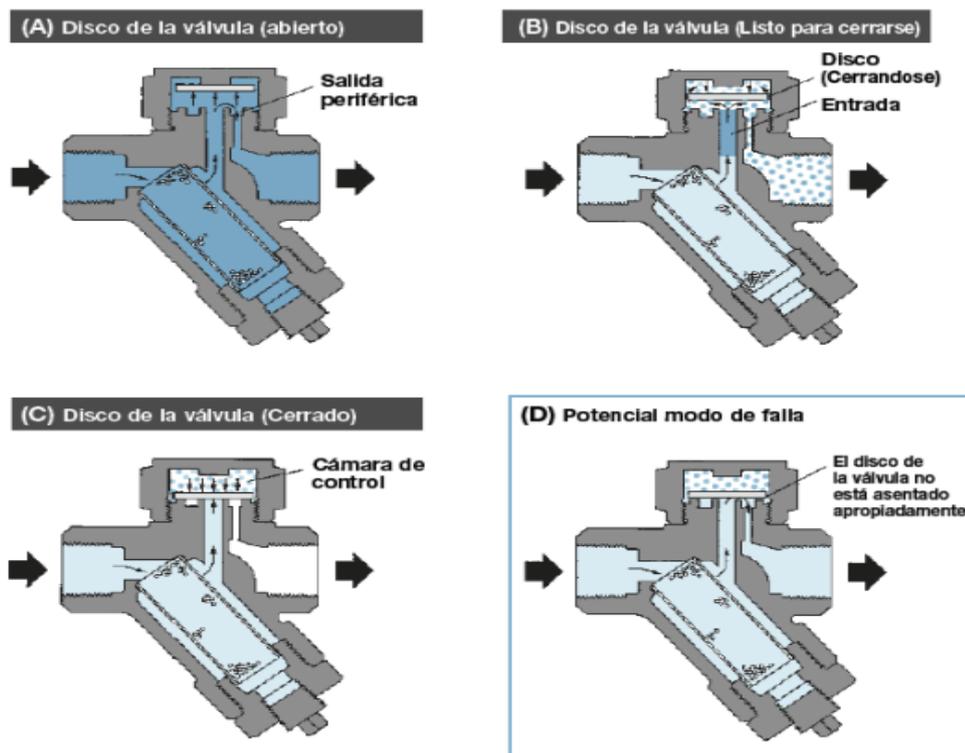


Figura 9. Ciclo de operación de una trampa termodinámica

Fuente: [24]

Operaciones de la trampa:

- Cuando un condensado se encuentra presente, la trampa está completamente abierta la cual permite descargar el condensado.
- Cuando el vapor tiende a ingresar a la trampa, el disco empieza a cerrarse debido a las formaciones del vapor flash sobre el disco.

- La trampa permanece cerrada, atrapando así el vapor del sistema hasta que el vapor flash encima del listón sea condensado debido a las pérdidas de calor al ambiente.
- Potencial modo de falla: dentro de un posible more falla este el disco no se asiente de manera apropiada debido a la suciedad o incrustaciones en la superficie del asiento, causando así pérdidas irreparables de vapor.

2.2.5.3. Trampas de Balde Invertido

La trampa de balde invertido excusado como un dispositivo flotador que está conectado mediante una articulación al tapón de la válvula, las variaciones de densidades entre los vapores y el condensado son utilizados para la creación son utilizadas para crear una fuerza de flotación sobre los baldes para poder abrir y cerrar la válvula, dichas trampas son usadas principalmente en aplicaciones de goteo en líneas principales de suministros de vapor.

Por lo general, estas trampas no suelen ser utilizadas en aplicaciones del proceso debido a su capacidad de manejo de aire, dado que las trampas de balde son extremadamente robustas, resistentes a los golpes y a la suciedad presente en el sistema.

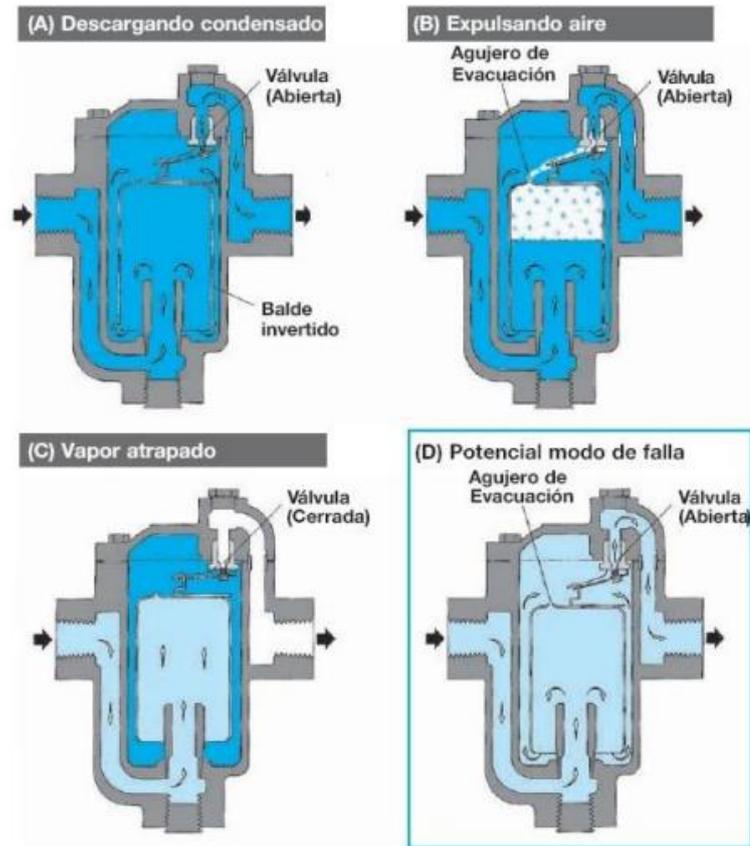


Figura 10. Ciclo de operación de una trampa de balde invertido

Fuente: [24]

Operación de la trampa:

- Con el condensado llenando completamente la trampa, el balde se encuentra en una posición hacia abajo con la válvula abierta, la cual permite el condensado puedan ser descargado.
- A través del orificio de evacuación en la parte superior del balde, el aire circula en pequeñas cantidades, lo cual permite que el aire levante el balde y cierre la trampa, haciendo que el aire bloquee el sistema temporalmente.
- Cuando el vapor ingresa a la trampa, el balde invertido se llena de vapor y tiende a flotar, cerrando así la válvula, evitando que el vapor escape.
- Potencial modo de falla: La trampa de balde debe mantener una cantidad de agua para funcionar apropiadamente, en caso de no existir esa cantidad de agua,

el balde se mantendrá en la posición hacia abajo con la válvula abierta y el vapor vivo será descargado del sistema.

2.2.5.4. Trampas de Flotador & Termostática

La trampa de vapor, termostáticas es utilizada como un flotador conectado mediante una articulación al tapón de la válvula, lo cual permite descargar el condensado del sistema, adicionalmente las trampas de flotador y termostática ya habían incorporado un venteo termostático de ahí, el cual permite la descargad del sistema, por esta razón es que las trampas poseen una excelente capacidad para remover el aire, lo cual es ventajoso durante el arranque dado a las grandes cantidades de aire que se encuentran presentes en el sistema.

Las trampas a vapor de flotador y termostática por lo General tienen como principal selección el drenaje de sus equipos acorde a la transferencia de calor en sus procesos.

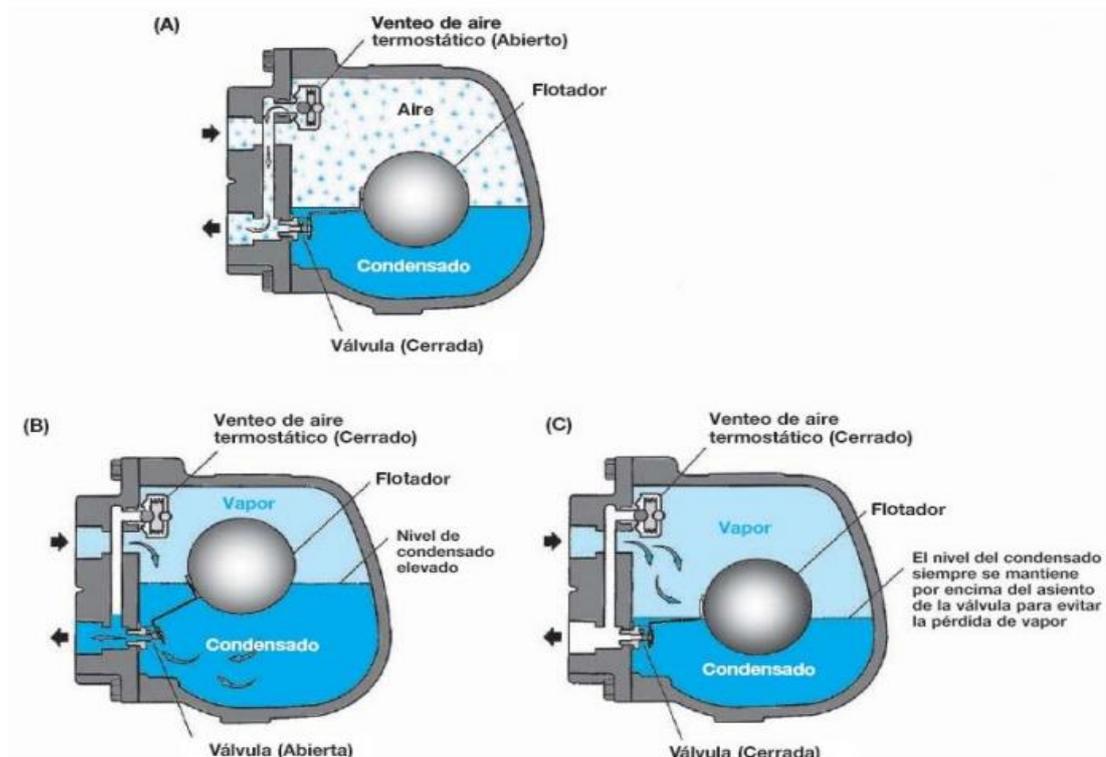


Figura 11. Ciclo de operación de una trampa de flotador & termostática

Fuente: [24]

Operación de la trampa:

- Cuando el aire frío entra a la trampa durante el arranque, el venteo de aire termostático está abierto, permitiendo la descarga de grandes cantidades de aire del sistema.
- Cuando el condensado entra a la trampa, el flotador se eleva, abriendo la válvula, y descargando el condensado.
- Cuando el vapor está presente y no está ingresando condensado a la trampa, la válvula y el venteo termostático de aire permanecen cerrados, atrapando el vapor en el sistema.

2.2.5.5. Trampas Bimetálicas

Las trampas de vapor bimetálicas son operadas bajo el principio de la expansión permitan de sus metales, donde su zona tales diferentes se juntan en una serie de discos que al proceder a calentarse se dilatan proporcionando así el cierre de la válvula, dichas trampas son usadas principalmente en venas de calentamiento con vapor, debido a su cantidad de ajustes en la temperatura de descarga del condensado, lo cual resulta ser deseable en ciertas aplicaciones de calentamiento.

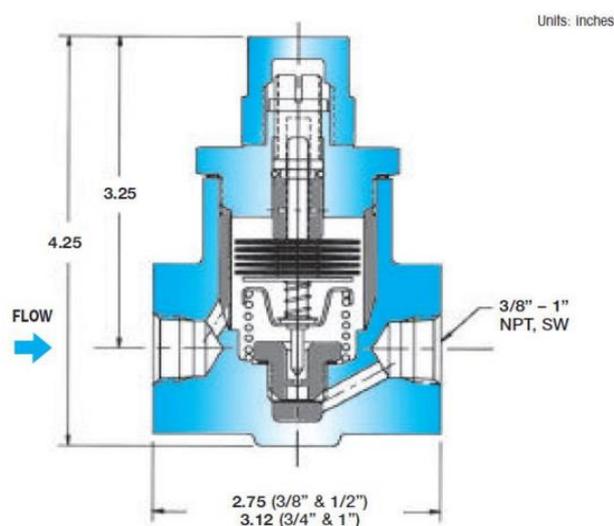


Figura 12. Vista interna de una trampa bimetálica

Fuente: [24]

Cuando están presente el aire y el condensado, la trampa bimetalica es la que permanece abierta mientras son de generados del sistema, por otra parte, cuando el vapor y llega a la trampa los discos se dilatan y empujan el tapón sobre el asiento permitiendo que la temperatura a la cual se cierra las válvulas pueda estar ajustada girando un tornillo de ajuste situado en la parte superior de la trampa.

2.2.6. Retorno de condensado

Las líneas de distribución de vapor y de retorno de condensados se encuentran instaladas por debajo de la cámara de vacío, ya que como es evidente por características del proceso no pueden ir al interior, se puede apreciar de mejor manera las conexiones que poseen las bandejas de secado, tienen 2 de entrada, una de ellas lógicamente es la alimentación de vapor saturado y la otra es utilizada para colocar un manómetro y medir la presión de entrada del vapor a la línea. Las dos conexiones de salida son para descarga de condensado.



Figura 13. Vista de las tres líneas de secado de producto al interior de la cámara de vacío

Fuente: [29]

Producto de las mediciones realizadas en el capítulo 2 se conoce que la demanda promedio de vapor este usuario es de 2.520 Lb/h, al ser 18 bandejas de secado, entonces el consumo individual de vapor de cada bandeja es de 140 Lb/h, en los procesos de transferencia de calor todo lo que entra como vapor debe salir como condensado, entonces bajo esta condición cada bandeja de secado desaloja 280 Lb/h de condensado.

A continuación, se muestran las condiciones de operación de las bandejas de secado:

- Presión de vapor del sistema: 52 Psig (3,58 bar g)
- Flujo máximo de condesado por cada bandeja: 140 Lb/h (63,63 Kg/hr)
- Contrapresión en la línea de retorno de condensado: 0 Bar g



Figura 14. Conexiones de alimentación de vapor y descarga de condensado de una bandeja de secado

Fuente: [29]

Con estos tres datos se utiliza la gráfica para el dimensionamiento de tuberías de retorno de condensado

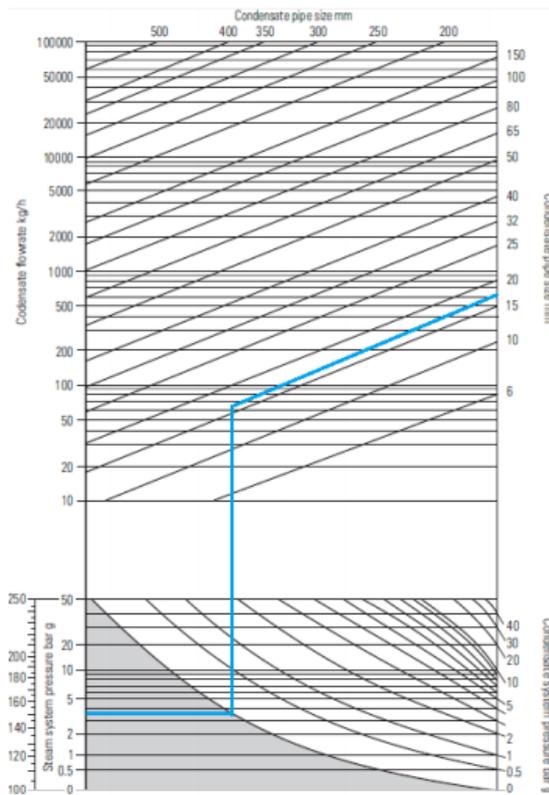


Figura 15. Gráfica para el dimensionamiento de tuberías de retorno de condensado

Fuente: [29]

Según la selección realizada con la figura, la tubería de descarga de condensado debería ser de 17 mm lo que equivale aproximadamente a una tubería de $\frac{3}{4}$ " , actualmente cada bandeja cuenta con 2 tuberías de descarga de condensado de $\frac{1}{2}$ " cada una con lo cual queda descartada la primera hipótesis planteada.

2.2.7. Accesorios de una distribución de tubería

2.2.7.1. Tuberías

Probablemente el estándar de las tuberías resulta ser más común en consideración al derivado del American Petroleum Institute (API), en donde las tuberías son clasificadas acordes a su espesor de pared de tubería, denominado Schedule (cedula).

Estos Schedule, son relacionados con la presión que es nominal en la tubería, y son así un total de once, comenzando así por 5 y seguido de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 hasta el Schedule de 160, para dichas tuberías de diámetro nominal de 150 mm y menores, el Schedule 40, esta denominado a veces “standard weight”, es el más ligero de los especificados, solo los Schedule de 40 y 80 cubren de la gama completa de medidas nominales desde 15 mm hasta los 60 mm y son los Schedule, en donde se utiliza más comúnmente para las instalaciones de tuberías de vapor.

Tabla 4. Tamaño de tuberías

| Tamaño de tuberías (mm) | | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 150 |
|-------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| DIÁMETRO (mm) | Schedule 40 | 15,8 | 21,0 | 26,6 | 35,1 | 40,9 | 52,5 | 62,7 | 77,9 | 102,3 | 128,2 | 154,1 |
| | Schedule 80 | 13,8 | 18,9 | 24,3 | 32,5 | 38,1 | 49,2 | 59,0 | 73,7 | 97,2 | 122,3 | 146,4 |
| | Schedule 160 | 11,7 | 15,6 | 20,7 | 29,5 | 34,0 | 42,8 | 53,9 | 66,6 | 87,3 | 109,5 | 131,8 |
| | DIN 2448 | 17,3 | 22,3 | 28,5 | 37,2 | 43,1 | 60,3 | 70,3 | 82,5 | 107,1 | 131,7 | 159,3 |

Fuente: [30]

Elaborado por: Los autores

2.2.7.2. Codos

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.



Figura 16. Codos

Fuente: [30]

2.2.7.3. Tipos de codos

Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la pre-fabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son:

- Codos estándar de 45°.
- Codos estándar de 90°.
- Codos estándar de 180°.

2.2.7.4. Características

Las principales características que presentan los codos, son las siguientes:

- **Diámetro:** Es el tamaño o medida del orificio del codo entre sus paredes los cuales existen desde ¼" hasta 120". También existen codos de reducción.
- **Ángulo:** Es la existente entre ambos extremos del codo y sus grados dependen del giro o desplazamiento que requiera la línea.
- **Radio:** Es la dimensión que va desde el vértice hacia uno de sus arcos. Según sus radios los codos pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extra largo.
- **Espesores:** una normativa o codificación del fabricante determinado por el grosor de la pared del codo.
- **Dimensión:** Es la medida del centro al extremo o cara del codo y la misma puede calcularse mediante fórmulas existentes.

2.2.7.5. Tés

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y Schedule y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.



Figura 17. TES

Fuente: [30]

2.2.7.6. Tipos

Diámetros iguales o te de recta. Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

2.2.7.7. Características

Las principales características que presentan los codos, son las siguientes:

- **Diámetro:** Los té existen en diámetros desde $\frac{1}{4}$ " hasta 72" en el tipo Fabricación.
- **Espesor:** Este factor depende del espesor del tubo o accesorio a la cual va instalada y ellos existen desde el espesor fabricación hasta el doble extra pesado.
- **Aleación:** Las más usadas en la fabricación son: acero al carbono, acero inoxidable, galvanizado, etc.
- **Juntas:** Para instalar los té en líneas de tubería se puede hacer, mediante procedimiento de rosca embutible-soldable o soldable a tope.
- **Dimensión:** Es la medida del centro a cualquiera de las bocas de la te.

2.2.7.8. Reducciones

Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías.

2.2.7.9. Tipos y características

- **Estándar concéntrico:** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.
- **Estándar excéntrico:** Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.

Las principales características que presentan las reducciones, son las siguientes:

- **Diámetro:** Es la medida del accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo, y varía desde 1/4" x 3/8" hasta diámetros mayores.
- **Espesor:** Representa el grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va a ser instalada. Existen desde el espesor estándar hasta el doble extra pesado.
- **Aleación:** Es la mezcla utilizada en la fabricación de reducciones, siendo las más usuales: al carbono, acero al % de cromo, acero inoxidable, etc.
- **Dimensión:** Es la medida de boca a boca de la reducción Concéntrica y excéntrica”.

2.2.8. Parámetros para el diseño de un sistema de distribución de vapor en la industria panificadora

Para el diseño de un sistema de distribución de vapore en la industria de la panificación, de acuerdo al estudio desarrollado por Brownell, es preciso tomar en consideración una serie de factores generales que influyen en la selección de la caldera (usualmente con capacidad de entre 100 CC y 150 CC), para proporcionar la cantidad de vapor necesaria a los equipos; así como también se debe establecer los parámetros para el control de la caldera, el sistema de alimentación de agua, las trampas de vapor

y el tratamiento de ablandamiento de agua, según se describirá en el presente apartado [7].

2.2.8.1. Factores que influyen en la selección de la caldera

Para seleccionar la caldera adecuada en la industria panificadora, además de los caballos de caldera (CC) es preciso considerar los factores que se detallan a continuación:

- Alimentación de agua: El agua debe ser suministrada de forma adecuada para garantizar la calidad del vapor y la conservación de la caldera. En este caso, en la industria de la panificación generalmente se emplea un tipo de vapor saturado húmedo conocido también como vapor saturado con agua regulada (95% - 5% humedad). Con base a esta perspectiva, generalmente se recomienda la utilización de 212°F (100°C) en la caldera, puesto que cuando la temperatura es menor puede dar lugar a la corrosión de las superficies, reduciendo así su vida útil.
- Tiempo de operación del generador de vapor (diaria): Para la selección de la caldera adecuada, se debe tomar en consideración el tiempo de operación de la misma, dado que este aspecto influirá en la cantidad de vapor que se requiera durante el proceso de producción del producto. En este caso, las calderas en la industria panificadora generalmente tienen una operación aproximada de 16 a 24 horas al día.
- Tipo de uso: La aplicación de vapor en la industria panificadora a través de la caldera, debe hacerse con base a las siguientes recomendaciones de Brownell para la industria: el vapor debe aplicarse en un período de 6 a 15 seg.; la presión de la caldera debe ser menor a 15 psi.; la presión de los inyectores de vapor debe fluctuar los 2 a 5 psi.
- Unidades requeridas: En este caso, en las empresas de la industria panificadora (dependiendo de las dimensiones de la empresa y su capacidad de producción) suele trabajarse con una caldera. Sin embargo, usualmente se recomienda la

adquisición de una caldera adicional que pudiera utilizarse como reemplazo en caso de que la caldera N°1 presente algún fallo o requiera mantenimiento.

- Tipo de combustible: Para la selección de la caldera es necesario considerar el tipo de combustible disponible, con base a factores de precio y eficiencia. En este caso, a nivel local existe disponibilidad de diésel oil que puede ser utilizado únicamente en calderas con capacidad de hasta 60 CC y un tiempo de operación de 16 horas al día. El kerosene es otro de los combustibles que se aplican en calderas, sin embargo, su utilización es frecuente en generadores de vapor con capacidades que superan los 50 CC, por lo que no se recomienda su aplicación en la industria panificadora. Finalmente, existe la disponibilidad de emplear fuel oil conocido también como bunker N°6, el cual puede ser utilizado en generadores de vapor con capacidades de 80 CC y un tiempo de operación de 24 por día, es más económico en comparación del diésel por lo que puede considerarse su uso en la industria.
- Espacio disponible en la planta: En este caso, se debe verificar que exista un área adecuada en la planta de la empresa panificadora previo a la implementación de la caldera, a fin de evitar posibles problemas posteriores.
- Energía eléctrica: la fuente de energía eléctrica disponible en la planta de la panificadora es otro de los aspectos que se deben tomar en consideración, puesto que la caldera requiere de una fuente ininterrumpida de energía que alimente los motores de los quemadores, las bombas y los controles, a fin de garantizar su correcto funcionamiento durante todo el proceso.

2.2.8.2. Parámetros de control de la caldera

Función de los controles y componentes

En cuanto a lo concerniente al control de las calderas, consiste básicamente a la evaluación tanto de las válvulas como de todos los componentes esenciales de la programación de la caldera. La persona encargada de operar dicha maquinaria, previamente tendrá que familiarizarse con las funcionalidades de cada uno de los

controles que se encuentren en esta, permitiendo con ello, una óptima gestión del proceso.

Cabe mencionar que una caldera para que pueda ser administrada de manera correcta, requiere del uso de un tipo de combustible específico para el cual está programado, así como depende mucho el tipo de sistema para el cual se haya diseñado el sistema de vapor o agua caliente, esto consecuentemente asegurará su funcionamiento adecuado.

Es necesario que la caldera se mantenga en constante funcionamiento, debido a que de esta manera se garantiza de forma optimizada los resultados esperados de todo el proceso de producción, por lo que particularmente se determina necesario que:

- 1) Dotar de manera constante de energía calorífica lo suficiente mediante la combustión ya sea con fuel oil o del diesel oil (cuando la caldera tiene mayor capacidad, y cuando la caldera se emplea más de las 24 horas del día) con aire empleado.
- 2) A nivel de seguridad es necesario que se controle constantemente el nivel tanto de combustión como de sobrecalentamiento de la caldera, y finalmente se determina.
- 3) Asegurar y garantizar que la llama durante la combustión se mantenga controlada y en constante revisión por un encargado para evitar cualquier anomalía o novedad del proceso.

Las calderas según la industria para la cual sean adquiridas y empleadas, cuentan con características distintas en sus controles, sin embargo es necesario considerar que constan generalmente de las siguientes partes:

- 1) Motor del ventilador (impulsor), este hace posible la movilidad del ventilador sin que tenga el impulsor mediante el cual se abastezca el aire para el encendido. Cabe mencionar que este motor es conocido como soplador.

- 2) Arranque del motor de ventilador: Este otorga la energía al motor que impulsa toda la caldera.
- 3) Ventilador: Abastece del aire requerido que es comprimido para el posterior proceso de combustión, así como permite la modulación de las válvulas primaria y las del combustible principal, permitiendo a su vez la suministración de aire limpio.
- 4) Transformador para la combustión: tiene la función de crear una ligera chispa de alto voltaje que permite iniciar la combustión del piloto de gas, así como de aquel piloto liviano de aceite.
- 5) Motor modulador de registro: permite la movilidad del registro rotatorio del aire y controla las válvulas de combustión a través de zarpas y un sistema articulado para garantizar una homogénea proporción tanto de aire como de aceite.
- 6) Interruptor de baja alimentación: A través zarpas se activa la alimentación de baja frecuencia que es a su vez auxiliar, actuando como eje principal para el motor que modula el registro. Cabe mencionar que este registro se debe mantener cerrado para el posterior encendido del quemador en baja alimentación. Otra de las características de este interruptor, es que ayuda a evitar la combustión del quemador si no se ha vuelto a colocar el registro de aire que rota así como la válvula que sistematiza el combustible en posición de baja alimentación, siendo por ello parte integral del motor.
- 7) Interruptor del quemador: Este funciona al conectarse de forma directa o manual, dando pie a que funcione así el quemador.
- 8) Interruptor manual-automático: Estando este interruptor en automático, toda la operación se da con el control modulador que administra la posición del motor modulador con base a la demanda de carga que se da. Cabe acotar que al estar este interruptor de forma manual, permite ajustar el motor modulador y la llama, lo que consecuentemente resultará en una adecuada alimentación de la caldera.

Siendo un control de prueba, permite ajustar y establecer una correcta proporción de aire y combustible como parte de la alimentación de la caldera.

- 9) Control manual de la llama: Se acciona de forma manual el potenciómetro lo que consecuentemente permitirá determinar el fogueo del quemador mediante el motor modulador, siempre y cuando el interruptor manual-automático quede en un estado “manual” previamente.
- 10) Transformador del motor modulador del registro: Disminuye el voltaje del circuito de control (115 VAC) a un nivel requerido por lo general que hasta los 24 VAC, siendo posible así la operación del motor modulador.
- 11) Luces indicadoras: Otorgan información visual respecto al proceso que ejerce la caldera con base a los siguientes datos:

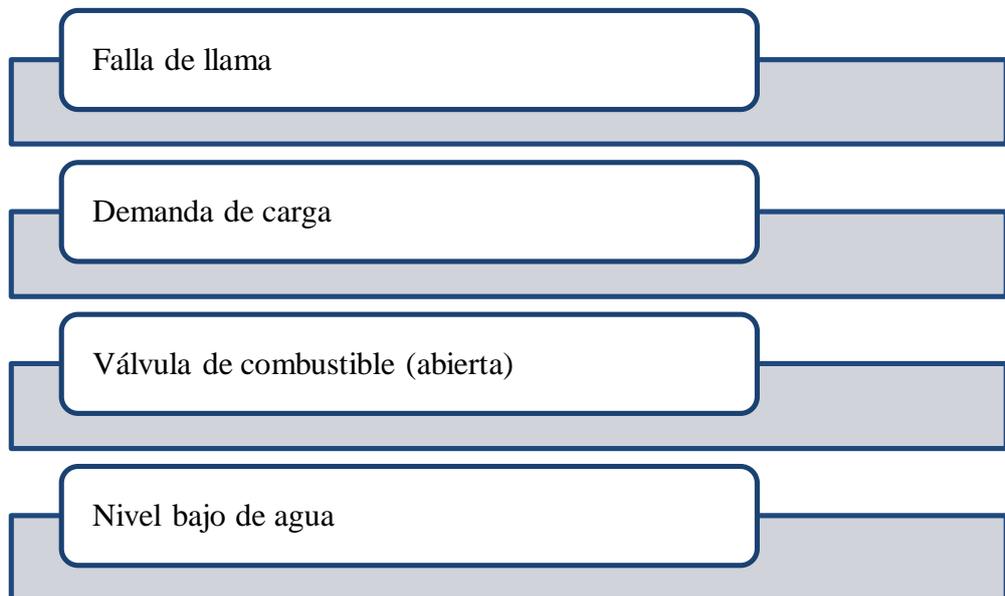


Figura 18. Información de las luces indicadoras

Elaborado por: Los autores

- 12) Control de programación y aseguramiento de la llama: Este consiste en que durante los periodos de encendido, funcionamiento y apagado de manera automática abarca una secuencia prevista y cronometrada desde el motor

soplador del registro. Esta secuencia va desde que se inicia la previa limpieza antes de la combustión hasta el cierre del quemador.

- 13) Interruptor de prueba de aire y combustión: Este consiste en un botón que funciona de manera sensitiva al tener una presión, presión que es ejercida a través del aire otorgado por el ventilador. Cabe mencionar que todas las válvulas que componen la caldera no pueden recibir energía antes de haberse cerrado este interruptor.
- 14) Timbre de alarma: Genera señales sonoras al crearse condiciones que necesiten de manera urgente atención y control.
- 15) Termómetro de la chimenea: Otorga información respecto a la temperatura de los gases de escape.

Controles de nivel

Para asegurar que el nivel de la caldera, la regulación del agua que la alimenta deberá gestionarse de acuerdo a diversos factores, entre los que destacan los siguientes:

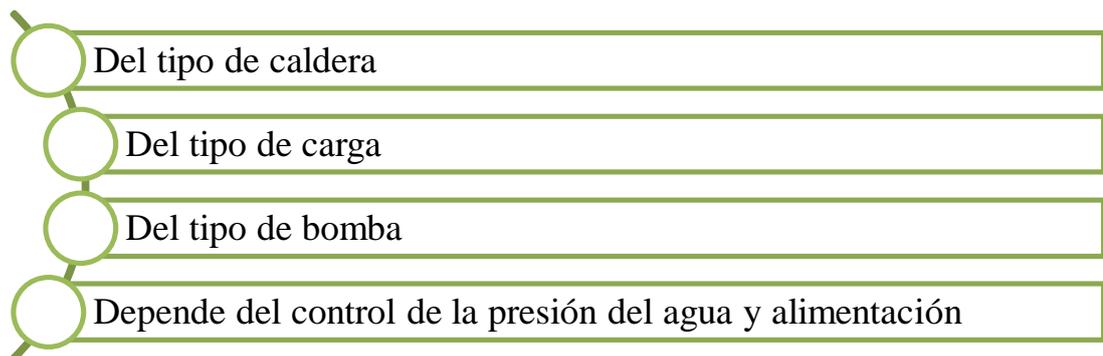


Figura 19. Factores para los controles de nivel agua

Elaborado por: Los autores

Cabe mencionar que el sistema de control del agua para la alimentación de la caldera, es gestionable teniendo en cuenta la capacidad de producción de vapor. En la siguiente tabla se presenta una guía que permitirá seleccionar el tipo de control adecuado:

Tabla 5. Sistema de control de nivel

| Tipo | Variables | Capacidad de la caldera kg/h | | |
|----------------|--|--|--------------------------------------|-------------------------------|
| | | <600 cargas irregulares | 6000-15000 pequeños cambios de carga | >15000 Cargas mantenimiento |
| Un elemento | Nivel | | | |
| Dos elementos | Nivel Caudal de vapor | Cargas irregulares con grandes fluctuaciones | Cambios de carga moderados | Lentos cambios carga moderada |
| Tres elementos | Nivel Caudal de vapor Caudal de agua | | | |

Elaborado por: Los autores

Se especifican los sistemas de control según su tipo:

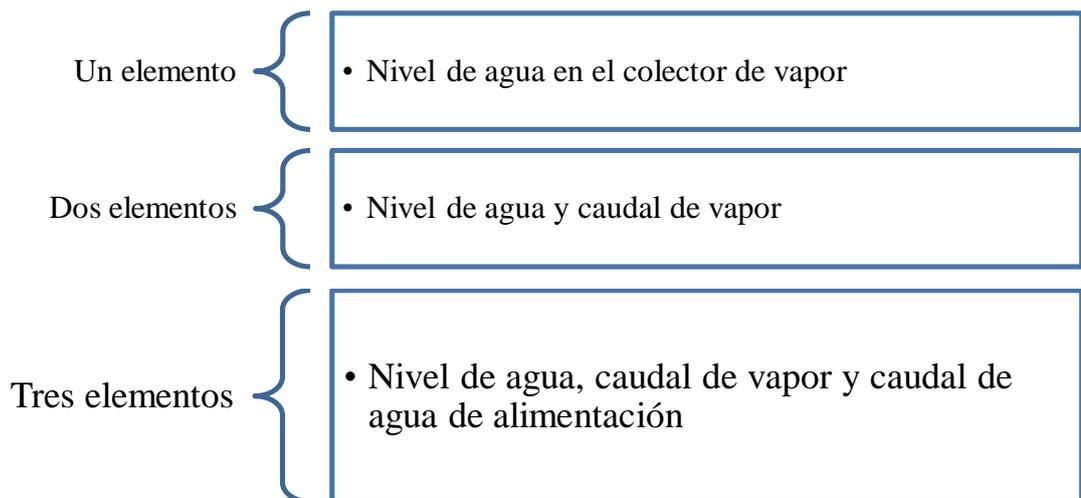


Figura 20. Sistemas de control según su tipo

Elaborado por: Los autores

Particularmente, para el diseño del sistema de distribución de vapor para la industria panificadora, se determinará el uso del sistema de control de tres elementos, debido a que este suprime los cambios anormales sobre el nivel del agua que se genera al momento de que el caudal de vapor incrementa o se reduce.

Controles de vapor

Tomando en consideración la variedad existente en cuanto a los sistemas de vapor, surgen a su vez controles de vapor tales como:

- 1) Manómetro para la presión de vapor: Hace referencia a la indicación que otorga sobre la presión al interior de la caldera.
- 2) Control de límite de presión: Frena el circuito para detener con esto el funcionamiento del quemador, al momento en que la presión de la caldera llegue al valor de presión previamente pactado. Se ajusta conforme se busque iniciar o detener al quemador con un previo valor de presión.
- 3) Control de alto límite de presión: Irrumpe en el circuito para frenar el funcionamiento del quemador al subir la presión de la caldera sobre el nivel de presión seleccionado. Este es ajustado de tal forma que logre frenar el quemador al llegar a una presión seleccionada para la operación normal del proceso. Este control por lo general se ajusta con un restablecimiento manual.
- 4) Control modulador: Identifica todos los cambios en relación a la presión de la caldera y los transfiere hacia el motor que posteriormente los modula, adaptando así la alimentación del quemador al momento de que el interruptor se encuentre en forma “automática”.
- 5) Columna de agua: Permite realizar el cierre sobre un bajo nivel de agua, particularmente este control se compone de:
 - Un vidrio de nivel.
 - Los cierres del tubo de vidrio y
 - Las llaves de prueba.

Controles de combustión

En lo que respecta al control sobre la combustión, no es más que el mantenimiento de forma consecuente la presión del vapor hacia la caldera, tarea que deberá recaer en el controlador encargado, quien deberá ajustar la válvula de manera constante para controlar dicho sea de paso el combustible.

En cuanto a la señal que surja de la fuente de aire, esta también podrá ser modificada de manera paulatina por un regulador de aire con respecto al combustible, que posteriormente pasará por un controlador que efectuará la comparativa de la señal previamente que se reciba de la fuente de combustible. Cabe acotar en caso de que la proporción de dicha señal inicial no sea la adecuada, se emitirá posteriormente otra señal hacia el servomotor que controla el ventilador o bien a la válvula de mariposa, de esta manera la fuente de aire se ajustará hasta lograr una sinergia entre el aire y combustible que se requiera.

Para regular la combustión, esta puede darse preferentemente desde el mando hacia el combustible o el aire, de esta manera la caldera operará con base a un procedimiento específico que cuente con características de seguridad particulares tales como las que se describen a continuación:

- Caudal fuel - caudal fuel en serio.
- Caudal aire - caudal en serio.
- Caudal de vapor-caudal fuel/caudal vapor-caudal en serie.
- Caudal aire-caudal fuel en paralelo.

En este caso particular para el sistema de distribución de vapor para la industria panificadora, se empleará la característica de combustión “Caudal aire fuel”, donde la señal de aire concuerda con el regulador del controlador fuel, otorgándole al sistema mayor seguridad, eliminando así la oportunidad que generación de alguna falla de tipo explosivo en caso de fallar el aire de combustión.

2.2.8.3. Parámetros para el diseño del sistema de combustible

Tipos de combustibles utilizados

Dentro de este acápite se desarrolla el análisis de los tipos de combustible que se podrán emplear para alimentar la caldera, determinándose necesario señalar las características de cada uno de estos, con el objetivo de disponer de amplia información sobre las alternativas existentes:

Es posible considerar como combustible las siguientes alternativas:

- Carbón.
- Bagazo de caña de azúcar.
- Diesel oíl (denominado también como #2)
- Kerosene.
- Fuel oíl (denominado bunker #6)
- Gas licuado.

2.2.8.4. Sistema de alimentación de agua

Generalidades del sistema de agua

En el sistema de distribución de vapor a implementarse, el agua constituirá la principal fuente de alimentación para la caldera, considerando que es necesaria para la generación del vapor en el sistema. En este caso, resulta imperativo diseñar un sistema que permita una alimentación de agua permanente a la caldera, de modo que se garantice la producción constante y uniforme del vapor que requieren los equipos para el proceso de producción de los productos.

Para su aplicación, el sistema de alimentación de agua que alimentará a la caldera, puede operar con el condensado de agua o por el agua tratada, e incluso por la combinación de ambos. En este contexto, es importante considerar que de proporcionar una alimentación de agua caliente a la caldera, las exigencias en combustible serán menores, dado que se alcanzaría la temperatura de ebullición requerida en menor tiempo según la presión en que opere la caldera, considerando que la salida máxima real de la caldera depende de la temperatura del agua de alimentación y de la presión de la caldera.

Cabe destacar que en la industria de la panificación y para efectos del presente proyecto, la temperatura de agua de la caldera será de 212°F (100 °C), una temperatura menor o menor a la recomendada, podría afectar el punto de condensación del vapor suministrado a los equipos, y consecuentemente afectaría la calidad del producto durante el proceso de producción. Así mismo, la temperatura de agua mayor a la

recomendada (100 °C), podría provocar corrosión en el área de la caldera, reduciendo su vida útil.

En caso de que se presenten fallas, será importante considerar que los riesgos de que se presenten problemas de condensación en el sistema de distribución de vapor, son mayores en casos en los cuales la caldera opera de forma intermitente y que sus dimensiones son superiores a la carga real requerida. Este tipo de problemas, excede las consideraciones y control que se pudiera lograr durante el diseño de la caldera.

2.2.8.5. Tratamiento de ablandamiento de agua

Considerando que el agua representa la materia prima en la mayor parte de los procesos industriales generalmente se alimenta de la red pública o de los pozos de agua. El agua cruda contiene calcio y el magnesio, que determinan la dureza y son responsables de la incrustación en los circuitos hidráulicos. A temperaturas superiores a 40 °C, los depósitos de calcio y magnesio pueden acumularse en las tuberías, lo que reduce el flujo a los grifos y aparatos. En los calentadores de agua, estos minerales generan una acumulación de incrustaciones que reduce la eficiencia y la vida útil de los calentadores y calderas.

Por lo tanto, se empleará un ablandador estándar de agua para el diseño de la red de distribución de vapor, el cual permitirá que el agua dura se filtre hacia abajo a través de un lecho de resina de intercambio iónico. La resina de intercambio iónico atrae los iones de calcio y magnesio (dureza) y los reemplaza con iones de sodio, que son menos problemáticos para los sistemas de agua y no causan la acumulación de escamas.

Posteriormente, cuando las resinas de intercambio iónico están saturadas de dureza, comienza la secuencia de regeneración en el ablandador de agua. La secuencia de regeneración del ablandador de agua comienza con el ciclo de retro lavado. El ciclo de lavado a contracorriente invierte el flujo del agua para pasar hacia arriba a través del lecho de resina de intercambio iónico. Esta operación libera las perlas de la resina de intercambio iónico listas para el siguiente paso en la secuencia de regeneración.

En este caso, la secuencia de regeneración de un ablandador de agua es saturar la resina de intercambio iónico con una solución de salmuera. Es durante este paso que la resina de intercambio iónico libera los iones de calcio y magnesio y los reemplaza con iones de sodio; tanto los iones de calcio como los de magnesio fluyen junto con el agua y el exceso de solución de salmuera para drenar. La frecuencia del ciclo de regeneración de un ablandador de agua generalmente está predefinida, utilizando un temporizador o una señal de contador de un medidor de agua.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

Para la presente investigación de “Diseño de un sistema de distribución de vapor para una industria panificadora de Guayaquil”, se procederá a la utilización de investigaciones de diseño experimental puesto que se basará en la recopilación de datos que ayudarán a la medición y determinación de los principales aspectos que tienen como objetivo este estudio, así se podrá describir cada uno de los hechos que se observarán.

3.2. Tipos de investigación

De acuerdo a los objetivos que se proponen se llegó a determinar que la investigación presente se caracterizara del siguiente tipo investigativo:

Investigación descriptiva: Ayudara a describir el problema de la investigación y las posibles razones y consecuencias que persisten del mismo para así esta pueda partir del paradigma crítico de forma positiva ante el diseño de un sistema de distribución de vapor.

Así como describe Sierra [9], donde expresa que dentro de esto se llega a “destacar las características o rasgos de la situación, fenómeno u objeto de estudio, su función principal es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio”.

Es la que permitirá analizar cada una de las discusiones de los resultados de encuestas para poder así comprobar el diseño de un sistema de distribución de vapor para una industria panificadora de Guayaquil.

Investigación de Campo. - Esta investigación es la que ejecuta en el lugar donde se da el problema que de acuerdo a la investigación será en una industria panificadora de Guayaquil, para luego se procederá al respectivo análisis de lo observado.

“La investigación de campo se presenta mediante la manipulación de una variable externa no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o porque causas se produce una situación o acontecimiento particular. Nos ayuda a optimizar el estudio puesto que nos permite instituir contacto con la realidad a fin de que la conozcamos mejor, la finalidad de esta radica en exponer nuevas proposiciones o transformar las existentes, en desarrollar las nociones; es el modo de llegar a elaborar teorías”. [31]

3.3. Universo y muestra

Para la realización de las encuestas se tomó en consideración la cantidad de 250 trabajadores de la industria panificadora de la ciudad de Guayaquil, donde fueron estimados un aproximado de 94 encuestados.

De acuerdo al universo que se tomó que es de 250, se procedió a sacar la muestra para la realización de las encuestas, donde dicha cantidad será de 94 total de encuestados, mientras que el error muestra (E) fue de 0,05, mientras que la proporción del éxito (P) fue del 0,5 así como la proporción del fracaso (Q), llegándose a considerar que el valor de la confianza (Z) era del 1,96 de acuerdo al 95% de probabilidad óptima.

| FÓRMULA PARA MUESTRA FINITA | | | | | |
|---|---------|-----------|------------|--------------------------------|---------------|
| $n = \frac{Z^2(p)(q)N}{e^2(N-1)+pq(Z)^2}$ | FÓRMULA | z2 = | 3,8416 | PXQ= | 0,25 |
| | | P= | 0,5 | | 62,5 |
| | | Q= | 0,5 | Resultado de arriba | 240,1 |
| | | N= | 250 | | |
| Z= Nivel de confianza 95% (1,96) | | E2= | 0,0025 | PXQXZ2 | 0,9604 |
| p= Probabilidad de éxito 50% (0,50) | | N-1= | 249 | E2XN-1= | 0,6225 |
| q= Probabilidad de fracaso 50% (0,50) | | | | Resultado de abajo | 1,5829 |
| e= error muestral 5% (0,05) | | | | | |
| Muestra óptima | | 92 | | Resultado de la muestra | 152 |

Figura 21. Cálculo de la muestra

Elaborado por: Los autores

3.4. Métodos, técnica e instrumentos de investigación

De observación. - Se usó este método para evidenciar un sistema de vapor para una industria panificadora de Guayaquil, se observará como se realizan la distribución de la misma, los tiempos, el servicio, entre otras cosas. Esta información será útil para determinar la demanda de vapor requerida para la industria panificadora como incidir la selección de caldera del sistema generador de vapor.

Este es uno de los procesos que se realizaron por medio de preguntas de forma alternada donde los encuestados seleccionan las respuestas de acuerdo a su parecer, para luego así analizar y determinar cuál es la percepción de los encuestados sobre las trampas de vapor en el sistema generador de vapor (ver formato de preguntas en anexo 11).

3.5. Análisis de resultados

1) ¿Cuál es su nivel de instrucción?

Tabla 6. Nivel de instrucción

| DETALLE | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|--------------|------------|-------------|
| Secundaria | 10 | 11% |
| Técnico | 34 | 36% |
| Tercer nivel | 28 | 30% |
| Cuarto nivel | 22 | 23% |
| TOTAL | 94 | 100% |

Elaborado por: Los autores

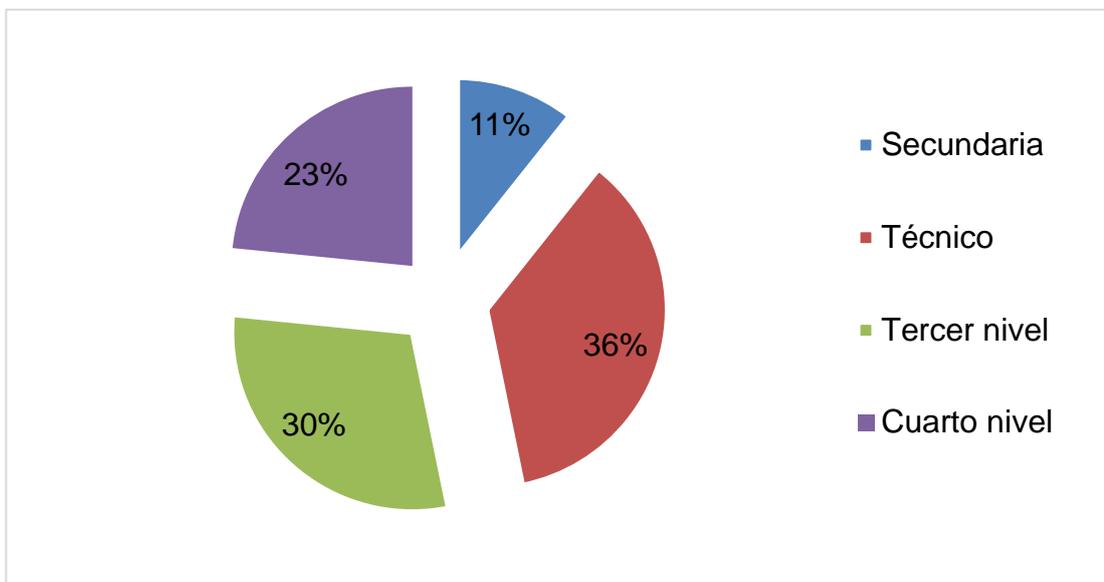


Figura 22. Nivel de instrucción

Elaborado por: Los autores

Análisis e interpretación de resultados: De acuerdo a la encuesta realizada en la industria panificadora de Guayaquil, se logró detallar que el personal que labora dentro de la misma, posee un rango de instrucción técnico con el 36%, mientras que el 30% posee nivel de instrucción tercer nivel, el 23% el personal con cuarto nivel de instrucción y finalmente el 11% las personas con nivel de instrucción secundaria.

2) ¿Considera necesario que se implemente un sistema de distribución de vapor para la industria panificadora de Guayaquil?

Tabla 7. Implementación de un sistema de vapor para la industria

| DETALLE | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|--------------------------------|------------|-------------|
| De acuerdo | 57 | 61% |
| En desacuerdo | 25 | 27% |
| Ni de acuerdo ni en desacuerdo | 12 | 13% |
| TOTAL | 94 | 100% |

Elaborado por: Los autores

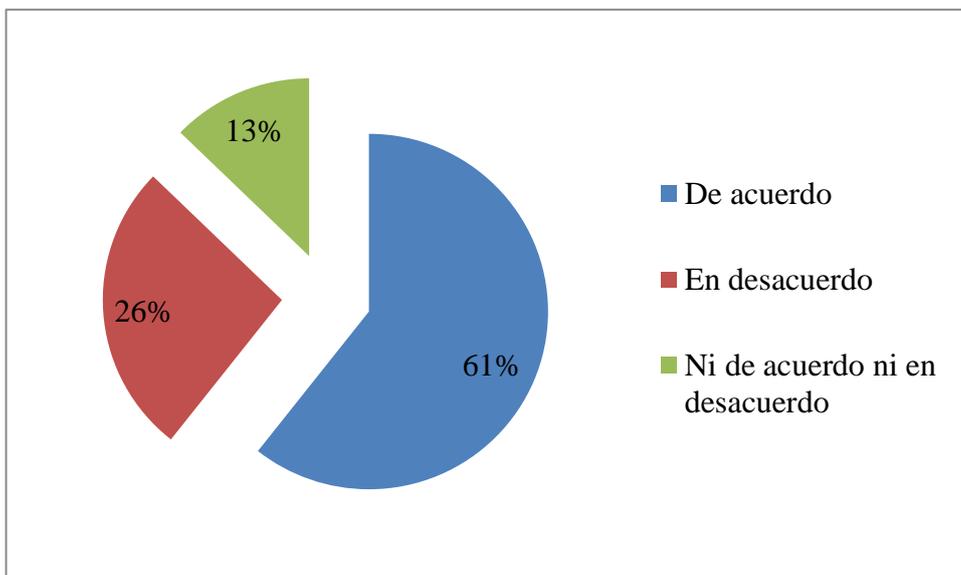


Figura 23. Implementación de un sistema de vapor para la industria

Elaborado por: Los autores

Análisis e interpretación de resultados: Considerando la interrogante planteada se detalló que si estaban de acuerdo con la creación y reestructuración de los sistemas de distribución para la industria panificadora en donde el 61% lo considera cómo requerimiento principal, mientras que el 26% está en desacuerdo y finalmente el 13% tomó la decisión de no estar ni de acuerdo ni en desacuerdo lo que se interpreta.

3) ¿Se han realizado estudios técnicos para identificar los equipos necesarios para la distribución y el dimensionamiento de las tuberías para vapor para una industria panificadora?

Tabla 8. Se realizan estudios para medir la distribución de tuberías de vapor

| DETALLE | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|--------------|------------|-------------|
| Sí | 81 | 86% |
| No | 13 | 14% |
| TOTAL | 94 | 100% |

Elaborado por: Los autores

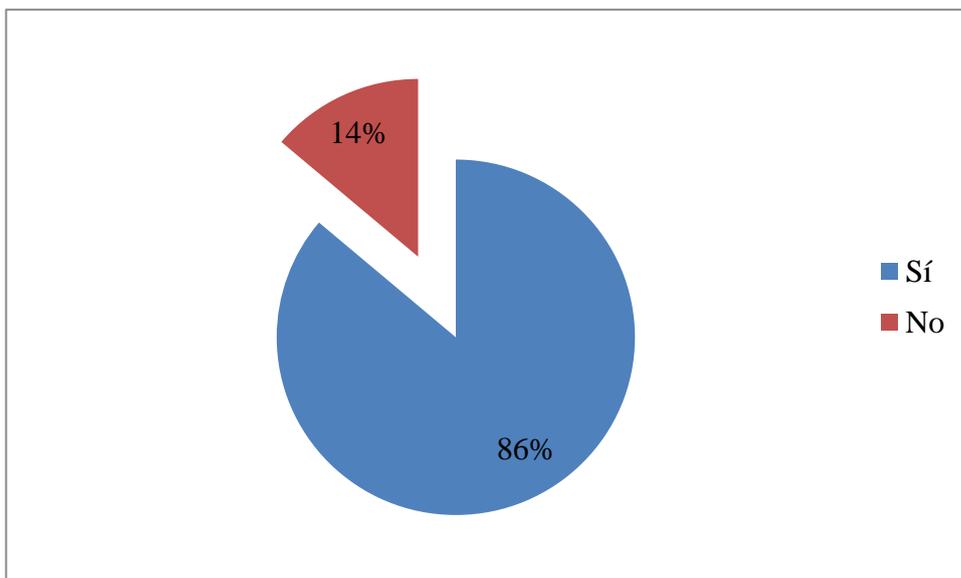


Figura 24. Se realizan estudios para medir la distribución de tuberías de vapor

Elaborado por: Los autores

Análisis e interpretación de resultados: En consideración de la interrogante ejecutada a los encuestados se determinó que el 86% si está de acuerdo con la realización de estudios técnicos que viabilicen los equipos necesarios para una excelente distribución y dimensionamiento de tuberías de vapor que requiere la industria panificadora, mientras que el 14% lo consideran no importante, por lo cual se interpreta qué a mayor estudio la industria mejoraría.

4) ¿Cuáles son los sistemas ideales y económicos para la generación de vapor en la industria panificadora en Guayaquil?

Tabla 9. Cuáles son las calderas más apropiadas para la generación de vapor

| DETALLE | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|------------------------|------------|-------------|
| Calderas pirotubulares | 46 | 49% |
| Calderas acuotubulares | 48 | 51% |
| TOTAL | 94 | 100% |

Elaborado por: Los autores

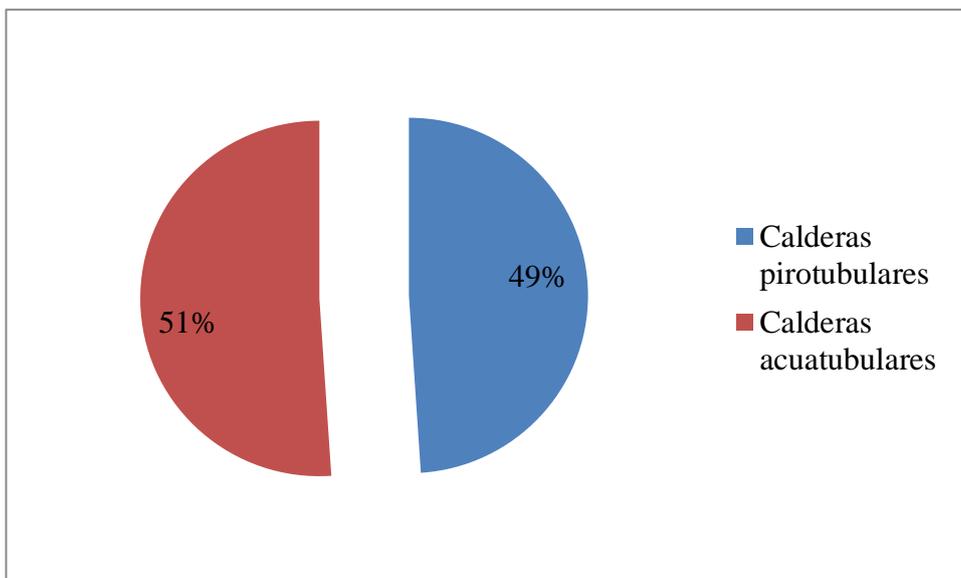


Figura 25. Cuáles son las calderas más apropiadas para la generación de vapor

Elaborado por: Los autores

Análisis e interpretación de resultados: Se analizó cuáles serían los sistemas ideales y económicos dentro de la Industria panificadora para la generación de vapor en dónde el 51% considera las calderas acuotubulares como la mejor opción para la realización de trabajos dentro de la misma, mientras que el 49% considera a las calderas pirotubulares como un mejor funcionamiento, por lo cual se interpreta que las dos calderas poseen un mismo funcionamiento pero con diferentes procesos para lo cual se debería tomar medidas y estudios qué detalle en cuál de las dos sería la más factible en los procedimientos a realizar.

5) ¿Conoce las normas de calidad bajo las cuales se maneja la empresa en la que labora?

Tabla 10. Posee conocimiento de las normadas de calidad de la empresa panificadora

| DETALLE | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|--------------|------------|-------------|
| Sí | 68 | 72% |
| No | 26 | 28% |
| TOTAL | 94 | 100% |

Elaborado por: Los autores

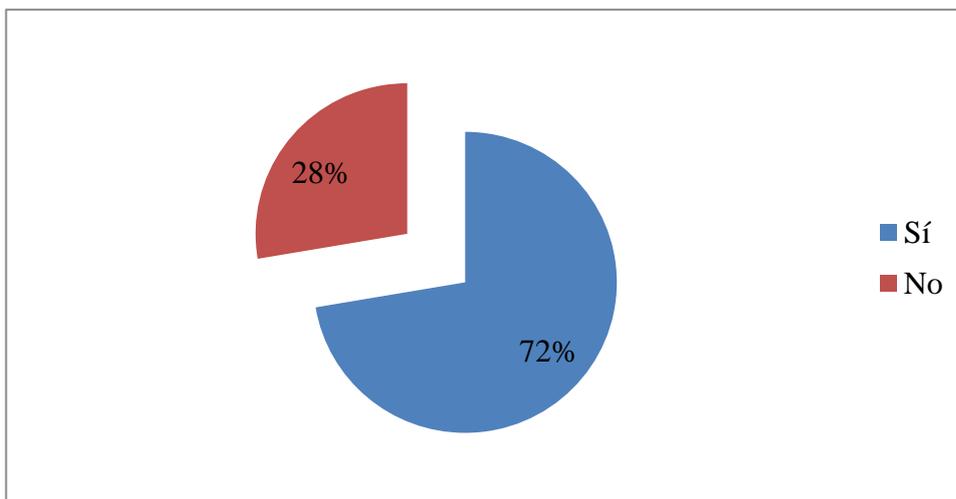


Figura 26. Posee conocimiento de las normadas de calidad de la empresa panificadora
Elaborado por: Los autores

Análisis e interpretación de resultados: Se interrogó a los trabajadores de la empresa panificadora si tenían el conocimiento sobre las normas de calidad en las cuales se maneja los procesos de distribución para lo cual del 100% se determinó que el 72% sí conocen y siguen dichas normas, mientras que el 28% no posee ningún conocimiento lo cual hace que se trabaje con un rendimiento bajo llegando a no producir los rangos esperados.

¿Conoce de las políticas de productividad de la empresa?

Tabla 11. Conoce de las políticas de productividad de la empresa

| DETALLE | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|--------------|------------|-------------|
| Sí | 79 | 84% |
| No | 15 | 16% |
| TOTAL | 94 | 100% |

Elaborado por: Los autores

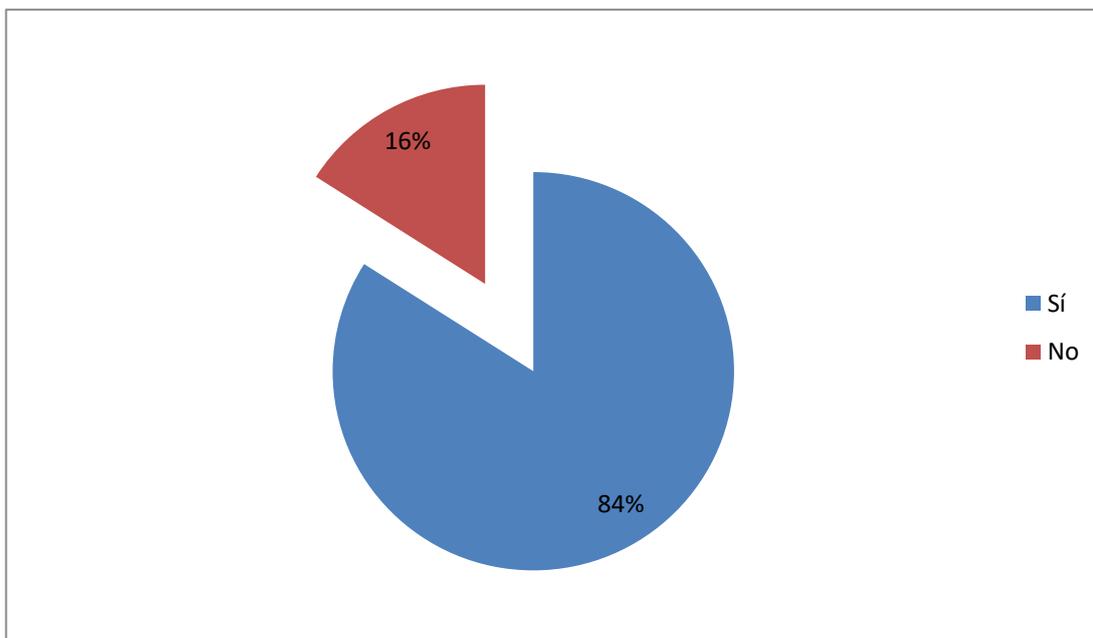


Figura 27. Conoce de las políticas de productividad de la empresa

Elaborado por: Los autores

Análisis e interpretación de resultados: Dentro de esta interrogante se planteó si los trabajadores conocían sobre las políticas de productividad de la empresa en donde el 84% si tiene el conocimiento fehaciente de la misma y el 16% lo desconoce creando así bajos estándares de productividad lo cual conlleva a la empresa al no funcionamiento adecuado en las calderas.

6) ¿Ha recibido talleres referentes a Prácticas de Manufactura y Diseños de tuberías dentro de la empresa o fuera de ella?

Tabla 12. Participa en talleres de prácticas de manufactura y diseños de tuberías dentro de la empresa o fuera de ella

| DETALLE | FRECUENCIA | PORCENTAJE |
|--------------|------------|-------------|
| Sí | 82 | 87% |
| No | 12 | 13% |
| TOTAL | 94 | 100% |

Elaborado por: Los autores

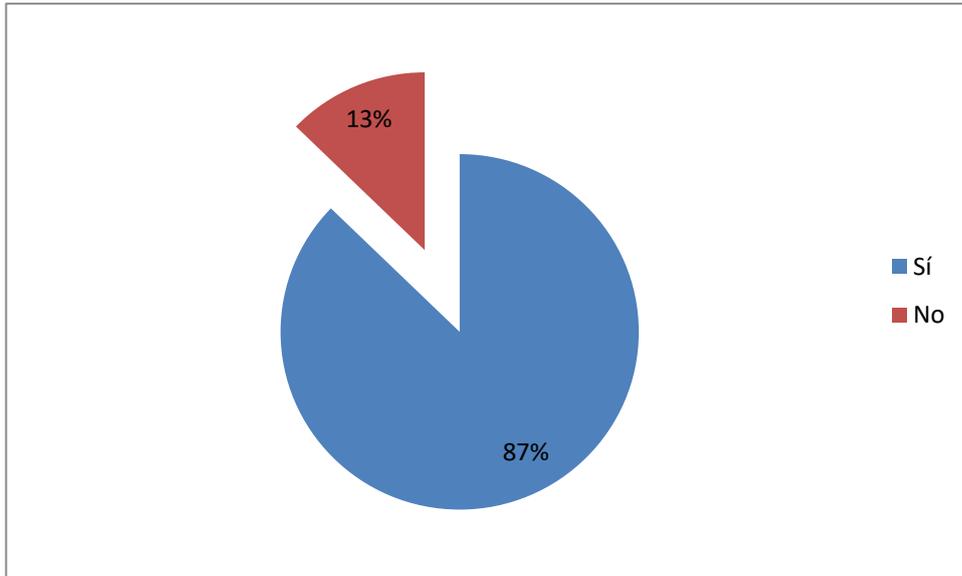


Figura 28. Participa en talleres de prácticas de manufactura y diseños de tuberías dentro de la empresa o fuera de ella

Elaborado por: Los autores

Análisis e interpretación de resultados: Por último, se interrogó si los trabajadores han recibido algún tipo de talleres que hagan referencia sobre las prácticas de manufactura y diseños de tuberías de vapor dentro de la empresa o fuera de la misma en donde del 100% de los encuestados se detalló que el 87% si lo han recibido y lo han puesto en práctica dentro de la empresa, mientras que el 13% no ha tenido la posibilidad de tomar dichos talleres para lo cual se interpreta qué debería extenderse para que así los empleados puedan tener conocimientos que sirvan como funcionamiento de productividad de la empresa creando así mejores manejos en la producción de la Industria panificadora.

A partir de los resultados obtenidos del estudio de campo en la industria panificadora, se realizará el diseño de un sistema de distribución de vapor para la industria, el cual incluirá el cálculo del consumo de vapor de cada uno de los equipos que se utilizan en la industria, con la finalidad de seleccionar la caldera adecuada en cuando al consumo en CC; el cálculo del sistema de alimentación de agua que incluirá el cálculo de la capacidad de agua, la capacidad y el dimensionamiento del tanque de agua, el cálculo y selección de bombas de agua; el cálculo del sistema de combustible de la caldera, que incluirá el dimensionamiento del tanque diario y el tanque principal,

la selección de la bomba de combustible; el cálculo y dimensionamiento de las tuberías principales y secundarias, además del cálculo de las trampas de vapor.

Cabe destacar que, para la elaboración de la propuesta, se toma en consideración las tablas pre establecidas de dimensionamiento propuestas por el autor Ángel Vargas en su libro titulado “Calderas industriales y marinas”, así como también se incluirá en anexos información referencial sobre la caldera, tuberías y otros accesorios.

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

4.1. Cálculo y definición de requerimientos de vapor

4.1.1. Aplicación del vapor en la industria panificadora

En la industria panificadora, para lograr una adecuada automatización de los procesos horneado requiere de la implementación de un sistema especializado que garantice la alimentación de calor a todos los equipos que se emplean en la producción de los diferentes tipos de productos que comercializa la empresa. En este caso, el vapor se usa en la industria para provocar la coagulación del almidón en la superficie del producto, dando como resultado un aspecto más brillante del producto y a su vez ayuda a que exista una mejor conservación, puesto que mantiene su aspecto y aroma por más tiempo.

Por lo tanto, en la industria panificadora cada cámara de cocción tiene su propio vaporizador que se coloca a lo largo de los tubos en contacto con la base del horno (donde se concentra la mayor cantidad de calor), esto hace que los vaporizadores produzcan la cantidad de vapor que requiere cada cámara de cocción. Cualquier dispositivo está compuesto generalmente por una caja de hierro, rellena de una sección de barras redondas. El agua rociada en el interior, en varios puntos, produce vapor que se extiende sobre las barras calientes internas; el vapor ayuda a mantener la elasticidad de la piel de la masa y esto permite que la levadura suba.

En este caso, el sistema de distribución de vapor se divide en módulos y garantiza una transferencia de calor uniforme a los equipos y consecuentemente al producto. La caldera requerida para los sistemas de distribución de vapor generalmente está construida completamente con acero y además cuenta con un túnel de cocción a prueba de vapor que se divide en secciones modulares, las cuales están conectadas en un marco con una conexión hermética al vapor entre las secciones. Cabe destacar que entre los principales beneficios de implementar un sistema de distribución de vapor en una empresa panificadora, se destacan los siguientes:

- Los quemadores superior e inferior son controlados individualmente (modulando).
- La humedad de los quemadores proporciona una influencia positiva en el desarrollo del producto, el sabor, la corteza y la estructura.

Consecuentemente, con la utilización de un sistema de distribución de vapor, además de optimizar el proceso se aporta con la mejora en la eficiencia y la eficacia en la producción, el vapor es instantáneo y se encuentra disponible durante todo el proceso de cocción. Por lo tanto, el diseño de un sistema de distribución de vapor para una variedad de equipos dependerá de una evaluación de una serie de requerimientos ajustados a la industria en la cual se va a implementar y de la capacidad que poseen los equipos que la caldera va a alimentar.

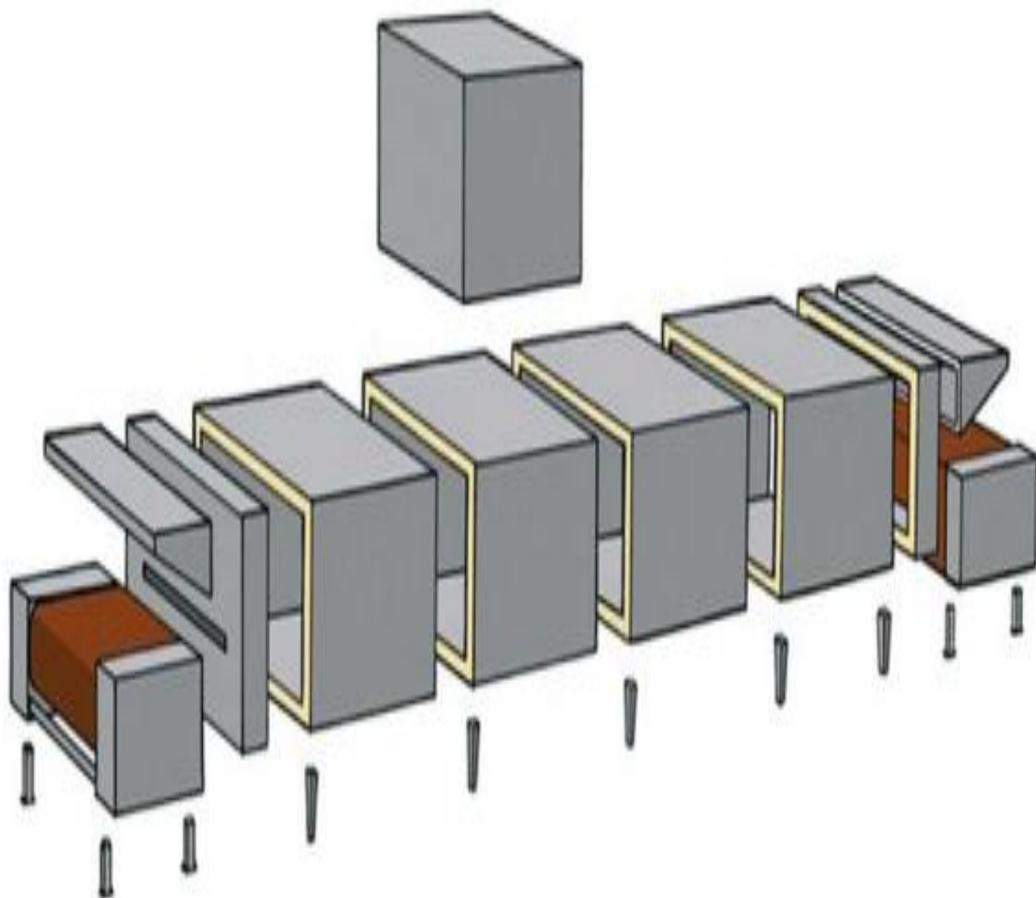


Figura 29. Sistema de distribución de vapor en la industria panificadora (ejemplo)

Fuente: [32]

4.1.2. Cálculo del consumo de vapor de los equipos

Para realizar una adecuada selección de la caldera, es necesario realizar el cálculo de la capacidad de vapor requerida según los diferentes equipos que requerirán de la alimentación de la caldera, en este caso la empresa de la industria panificadora seleccionada para el presente estudio, hace uso de los siguientes equipos durante el proceso de producción (ver especificaciones en anexo 1):

- Amasadora G-PANIZ
- Amasadora Shaffer
- Amasadora Baker Perkins
- Cámara de Fermentación BAKER PERKINGS
- Cocinador al vacío (Marmita 5 ROBO QBO)
- Hornos de repisa BAKER PERKINGS
- Horno giratorio HOBART (2)
- Horno giratorio ARGENTAL (2)
- Horno giratorio ZUCHELLI
- Horno giratorio ESMACH
- Horno giratorio SALVA (2)
- Horno PAVAILLER (2)
- Horno túnel IMAFORNI
- Horno túnel FORNISUD
- Marmita 1
- Marmita 2
- Marmita 3
- Marmita 4

El sistema de vapor en las empresas panificadoras se basa específicamente en la distribución de vapor de forma uniforme a los equipos que permiten la cocción del producto; de esta forma se crea una apariencia brillante y se previene el posible agrietamiento de la corteza del pan durante el proceso de horneado, aportando mayor calidad al producto final.

En la industria panificadora, el vapor debe fluir hacia los equipos a través de secciones modulares que cuentan con barras calientes internas que al contacto con el agua producen el vapor requerido para lograr la cocción a vapor del producto en el horno. En este caso, la capacidad de vapor requerida para los equipos antes mencionados, debe ser calculada a través de la aplicación de la fórmula que se presenta a continuación:

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

Q= Calor (Kcal/h)

m= Masa del material a calentar (kg)

C_p= Calor específico del material (kcal/kg °C)

ΔT= Variación de la temperatura (°C)

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

T_F = Temperatura final

T_I = Temperatura inicial

Para su aplicación se consideran las siguientes variables para su aplicación y conversión:

- Calor específico de la masa de pan correspondiente a 2,72 kJ/kg, lo que es igual a 0.65 kcal/kg °C
- Calor específico de la masa de chocolate negro correspondiente a 2,48 kJ/kg, lo que es igual a 0.59 kcal/kg °C (ver anexo 2).
- Masa de pan: 70.14g (unidad), 44.67g baguettes (unidad).
- 1 CC es equivalente a 8434.652 Kcal/h

En este caso, para la aplicación de la fórmula establecida se considera las temperaturas de ebullición de 100°C según los cálculos que se presentan a continuación:

Amasadoras (3)

El cálculo para determinar el flujo de vapor en las amasadoras se determina a continuación, teniendo en consideración varios datos iniciales tales como la capacidad, densidad de la masa, y calor específico:

- Tiempo = 28 minutos
- Calor específico= 0.65 Kcal/kg °C
- $T_F = 100$ °C
- $T_I = 60$ °C
- $m = 75$ Kg/
- $Q = m * C_p * (T_f - T_i)$

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

Flujo másico= $\dot{m} = 75$ Kg/28 min= 2.71 Kg/min = 162.86 Kg/h

$$Q = 162,86 \frac{kg}{h} * 0,65 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ C} * 40 \text{ } ^\circ C$$

$$Q = 4.234,36 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q = \frac{4.234,36 \frac{Kcal}{h}}{8.434,652 \frac{Kcal}{h}}$$

$$Q = 0,50 \text{ CC}$$

$$Q = 4.234,36 \frac{Kcal}{h} * 3 \text{ amasadoras}$$

$$Q = \frac{12.703,08 \frac{Kcal}{h}}{8.434,652 \frac{Kcal}{h}}$$

Q = 1,51 CC \approx Consumo en Caballos de caldera de las 3 amasadoras.

Cámara de fermentación (1)

Se procede a continuación a presentar el cálculo correspondiente a la cámara de fermentación, teniendo como datos previos, el tiempo, la capacidad en latas, para proceder con la realización del ejercicio:

Datos:

- Tiempo = 18 min.
- Capacidad = 45 latas (2580 kg/h)
- $T_F = 25\text{ }^\circ\text{C}$
- $T_I = 0\text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

Flujo másico = $\dot{m} = 2580\text{ Kg/h}$

$$Q = 2.580 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (25 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 2.580 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 25 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 41.925 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{41.925 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$Q = 4,97\text{ CC} \approx$ Consumo en Caballos de caldera.

Cocinador al vacío 1 (Marmita ROBO QBO)

El cálculo para el cocinador al vacío de la marca Robo QBO, se determina a continuación, teniéndose en consideración la capacidad de este equipo el cual es de 120 litros, y cuyas dimensiones son de 1.60 cm ancho – 1.70 cm largo - 2.00 cm altura y radio 80cm:

- Capacidad= 80 libras
- Dimensiones = 1.60 cm ancho – 1.70 cm largo - 2.00 cm altura
- $T_{\max} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Densidad del chocolate blanco= 1300 kg/m^3
- Calor específico: $0.59 \text{ kcal/kg. }^{\circ}\text{C}$
- Volumen (media esfera) = $\frac{2}{3} * \pi * r^3 = \frac{2}{3} * 3.1416 * (0.80)^3 = 0.6666 * 3.1416 * 0.512 = 1.07 \text{ m}^3$
- $t_{\text{cocido}} = 60 \text{ minutos} = 1 \text{ hora}$
- $T \text{ chocolate blanco} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$1.07 \text{ m}^3 * 1300 \text{ kg/m}^3 * 0.59 \text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C} = 820.69 \text{ Kcal/}^{\circ}\text{C}$$

$$Q = \frac{\left((820,69 \frac{\text{Kcal}}{^{\circ}\text{C}}) * (100 - 23) \text{ }^{\circ}\text{C} \right)}{1 \text{ h}}$$

$$Q = \frac{\left((820,69 \frac{\text{Kcal}}{^{\circ}\text{C}}) * (77) \text{ }^{\circ}\text{C} \right)}{1 \text{ h}}$$

$$Q = 63.193,13 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{63.193,13 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$$Q = 7,49 \text{ CC} \approx \text{Consumo en Caballos de caldera.}$$

Hornos de Repisa (1 horno – 33 repisas)

El cálculo de la cantidad de vapor que requiere el horno a repisa, se realiza con base a las variables que se mencionan a continuación:

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

- Tiempo= 20 minutos
- $C_p = 0.65 \text{ kcal/kg. }^{\circ}\text{C}$

- $T_F = 180\text{ }^\circ\text{C}$
- $T_I = 115\text{ }^\circ\text{C}$
- Capacidad = 33 repisas (26 unidades de pan por repisa)
- $m = 528\text{ Kg}$

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

Flujo másico= $\dot{m} = 528\text{ Kg}/20\text{ min} = 26.4\text{ Kg}/\text{min} = 1584\text{ Kg}/\text{h}$

$$Q = 1.584 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (180 - 115) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1.584 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 65 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 66.924 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{66.924 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$Q = 7,93\text{ CC} \approx$ Consumo en Caballos de caldera.

Horno giratorio (8 hornos – 40 latas)

El cálculo de la cantidad de vapor que requiere el horno a repisa, se realiza con base a las variables que se mencionan a continuación, considerando que de acuerdo a las especificaciones técnicas de los hornos rotatorios, la capacidad de producción de pan por lata es de 24 panes (ver anexo 3), considerando que la masa de un pan individual corresponde a 70.14g:

- Tiempo= 20 minutos
- Capacidad= 40 latas
- $T_F = 180^\circ\text{C}$
- $T_I = 80^\circ\text{C}$

- $m = 40 \text{ latas} * 1683.36\text{g} * 1\text{Kg}/1000\text{g} = 67 \text{ Kg}$

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

Flujo másico= $\dot{m} = 67 \text{ Kg}/20 \text{ min} = 3.35 \text{ Kg}/\text{min} = 201 \text{ Kg}/\text{h}$

$$Q = 201 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (180 - 80) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 201 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 100 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 13.065 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{13.065 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$$Q = 1,549 \text{ CC}$$

$$Q = 13.065 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * 8 \text{ hornos}$$

$$Q = \frac{104.520 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$Q = 12,39 \text{ CC} \approx$ Consumo en Caballos de caldera de 8 hornos GIRATORIOS.

Horno Pavailler (2 hornos – 90 moldes)

Para determinar la cantidad de vapor que requiere el horno Pavailler, se realiza con base a las variables que se mencionan a continuación, considerando que de acuerdo a las especificaciones técnicas de los hornos, la capacidad de producción es de 216 baguettes por molde, considerando que la masa de un pan individual corresponde a 44.67g:

- Tiempo= 35 minutos

- Capacidad= 90 moldes
- $T_F = 150^\circ\text{C}$
- $T_I = 60^\circ\text{C}$
- $m = 90 \text{ latas} * 9648.72\text{g} * 1\text{Kg}/1000\text{g} = 868.4 \text{ Kg}$

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

Flujo másico= $\dot{m} = 868.4 \text{ Kg}/35 \text{ min} = 24.811 \text{ Kg}/\text{min} = 1488.66 \text{ Kg}/\text{h}$

$$Q = 1.488,66 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (150 - 60) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1.488,66 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 90 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 87.086,61 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{87.086,61 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$$Q = 10,325 \text{ CC}$$

$$Q = 87.086,61 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * 2 \text{ hornos}$$

$$Q = \frac{174.173,22 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$Q = 20,65 \text{ CC} \approx$ Consumo en Caballos de caldera de 2 hornos PAVAILER.

Horno túnel (2 – 60 latas)

El cálculo de la cantidad de vapor que requiere los hornos túnel, se realiza con base a las variables que se mencionan a continuación, considerando que de acuerdo a las especificaciones técnicas de los hornos, la capacidad de producción es de 24 panes por lata, considerando que la masa de un pan individual corresponde a 70.14g:

- Tiempo= 15 minutos
- Capacidad= 60 latas
- $T_F= 180^\circ\text{C}$
- $T_I= 80^\circ\text{C}$
- $m= 60 \text{ latas} * 1683.36\text{g} * 1\text{Kg}/1000\text{g}= 101 \text{ Kg}$

$$Q = m * C_p * (T_F - T_I)$$

Flujo másico= $\dot{m} = 101 \text{ Kg}/15 \text{ min} = 6.73 \text{ Kg}/\text{min} = 403.99 \text{ Kg}/\text{h}$

$$Q = 403,99 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * (180 - 80) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 403,99 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,65 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} * 100 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 26.259,35 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{26.259,35 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$$Q = 3,115 \text{ CC}$$

$$Q = 26.259,35 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * 2 \text{ hornos}$$

$$Q = \frac{52.518,17 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

$Q = 6,23 \text{ CC} \approx$ Consumo en Caballos de caldera de 2 hornos TÚNEL.

Marmita 1

El cálculo de la cantidad de vapor que requiere la marmita 1, se realiza con base a los datos que se mencionan a continuación:

- Capacidad= 180 lb
- Dimensiones= 90cm Ø x 160cm altura
- Tmax= 100 °C
- Densidad del chocolate negro= 1200 kg/m³
- Calor específico= 0.59 Kcal/kg °C
- Volumen (media esfera) = $\frac{2}{3} * \pi * r^3 = \frac{2}{3} * 3.1416 * (0.45)^3 = 0.6666 * 3.1416 * 0.091125 = 0.19m^3$
- T cocido: 35 minutos = 0.583333 hora
- T chocolate: 23°C

$$0.19m^3 * 1200 \text{ kg/m}^3 * 0.59 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} = 135.123 \text{ Kcal/ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{((135,123 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}) * (100 - 23) ^\circ\text{C})}{0,583333h}$$

$$Q = \frac{((135,123 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}) * (77) ^\circ\text{C})}{0,583333h}$$

$$Q = 17.836,29 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$Q = \frac{17.836,29 \frac{\text{Kcal}}{h}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{h}}$$

Q = 2,11 CC ≈ Consumo en Caballos de caldera de MARMITA 1.

Marmita 2

En el caso de la marmita 2 utilizada para procesar chocolate negro, se realiza con base a los datos que se mencionan a continuación:

- Capacidad= 200 lb
- Dimensiones= 120cm Ø x 235cm altura
- Tmax= 100 °C
- Densidad del chocolate negro= 1200 kg/m³
- Calor específico= 2.48 Kcal/kg °C

- Volumen (media esfera) = $\frac{2}{3} * \pi * r^3 = \frac{2}{3} * 3.1416 * (0.60)^3 = 0.6666 * 3.1416 * 0.216 = 0.45 \text{ m}^3$
- T cocido: 35 minutos = 0.583333 hora
- T chocolate: 23%

$$0.45 \text{ m}^3 * 1200 \text{ kg/m}^3 * 0.59 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} = 320.292 \text{ Kcal/ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{((320,292 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}) * (100 - 23) ^\circ\text{C})}{0,583333h}$$

$$Q = \frac{((320,292 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}) * (77) ^\circ\text{C})}{0,583333h}$$

$$Q = 42.278,30 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$Q = \frac{42.278,30 \frac{\text{Kcal}}{h}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{h}}$$

Q = 5,01 CC \approx Consumo en Caballos de caldera de MARMITA 2.

Marmita 3

El cálculo de la cantidad de vapor que requiere la marmita 3, (utilizada para calentar chocolate blanco) se realiza con base a los datos que se mencionan a continuación:

- Capacidad= 80 lb
- Dimensiones= 90cm Ø x 110cm altura
- Tmax= 100 °C
- Densidad del chocolate blanco= 1300 kg/m³
- Calor específico= 2.48 Kcal/kg °C
- Volumen (media esfera) = $\frac{2}{3} * \pi * r^3 = \frac{2}{3} * 3.1416 * (0.45)^3 = 0.6666 * 3.1416 * 0.091125 = 0.19\text{m}^3$
- T cocido: 35 minutos = 0.583333 hora
- T chocolate: 23°C

$$0.19\text{m}^3 * 1300 \text{ kg/m}^3 * 0.59 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} = 145.73 \text{ Kcal/}^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{((145,73 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}) * (100 - 23) ^\circ\text{C})}{0,583333\text{h}}$$

$$Q = \frac{((145,73 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}) * (77) ^\circ\text{C})}{0,583333\text{h}}$$

$$Q = 19.236,37 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{19.236,37 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{8.434,652 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}$$

Q = 2,28 CC \approx Consumo en Caballos de caldera de MARMITA 3.

Marmita 4

La marmita 4 es utilizada para procesar chocolate negro, por lo tanto el cálculo se realiza con base a los datos que se mencionan a continuación:

- Capacidad= 210 lb
- Dimensiones= 120cm Ø x 150cm altura
- Tmax= 100 °C
- Densidad del chocolate negro= 1200 kg/m³
- Calor específico= 2.48 Kcal/kg °C
- Volumen (media esfera) = $\frac{2}{3} * \pi * r^3 = \frac{2}{3} * 3.1416 * (0.60)^3 = 0.6666 * 3.1416 * 0.216 = 0.45 \text{ m}^3$
- T cocido: 35 minutos = 0.583333 hora
- T chocolate: 23°C

$$0.45 \text{ m}^3 * 1200 \text{ kg/m}^3 * 0.59 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} = 318.6 \text{ Kcal/}^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{((318,60 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}) * (100 - 23) ^\circ\text{C})}{0,583333\text{h}}$$

$$Q = \frac{((318,60 \frac{Kcal}{^{\circ}C}) * (77) ^{\circ}C)}{0,583333h}$$

$$Q = 42.055,22 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q = \frac{42.055,22 \frac{Kcal}{h}}{8.434,652 \frac{Kcal}{h}}$$

Q = 4,99 CC ≈ Consumo en Caballos de caldera de MARMITA 4.

Balance térmico

Tabla 13. Consumo total de vapor

| Equipos | Consumo total | |
|--------------------------------|------------------|--------------|
| | Kcal/h | CC |
| Amasadoras (3) | 12703,08 | 1,51 |
| Cámara de fermentación | 41925,00 | 4,97 |
| Cocinador al vacío (Marmita 5) | 63193,13 | 7,49 |
| Hornos de Repisa | 66924,00 | 7,93 |
| Hornos giratorios (8) | 104520,00 | 12,39 |
| Horno Pavailier (2) | 174173,22 | 20,65 |
| Horno túnel (2) | 52518,7 | 6,23 |
| Marmita 1 | 17836,29 | 2,11 |
| Marmita 2 | 42248,30 | 5,01 |
| Marmita 3 | 19236,37 | 2,28 |
| Marmita 4 | 42055,22 | 4,99 |
| Total | 576041,72 | 75,56 |

Elaborado por: Los autores

Al total de caballos de caldera que demandan los equipos de la industria panificadora, se le adicional el factor de seguridad, correspondiente al 20%, el cual corresponderá a posibles pérdidas por radiación y convección que pudieran presentarse en la línea de tuberías o por la operación de las maquinarias. Por lo tanto se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$75.56 \text{ CC} * 20\% = 15.11$$

$$75.56 \text{ CC} + 15.11 = 90.67 \text{ CC}$$

4.1.3. Selección de la caldera

Para seleccionar la caldera adecuada para aplicaciones en la industria de la panificación, se deberá considerar el balance térmico requerido, en este caso será de 75.56 CC, sin embargo, se selecciona la potencia inmediata superior dado el porcentaje correspondiente al factor de seguridad 90.67 CC; por lo tanto, se deberá trabajar con una caldera de 100 CC.

Cabe destacar que se trabajará con una caldera de tipo pirotubular de posición horizontal para facilitar su posterior mantenimiento. Así mismo, se consideran las siguientes características generales:

- Tipo de combustible: Diésel.
- Encendido automático.
- Tipo de alimentación: Modulación completa durante toda la operación.
- Tipo de quemador: Atomización de aire.
- Registro del vapor: Rotatorio modulado.
- Tiempo de operación: 24 horas al día.
- Agua de alimentación disponible: 167°F (75 °C)
- Unidades: Se trabajará con una caldera de 100 CC.
- Tipo de caldero a utilizar: 150 psi (10.5 kg/cm² o su equivalente a 149.3 lbs/pulg²) con capacidad que pueden ser utilizadas con presiones de hasta 300 psi (21.0 kg/cm² o su equivalente a 284.5 lbs/ pulg²) según indicaciones técnicas del fabricante (ver referencia en anexo 4).

4.2. Cálculo del sistema de alimentación de agua

Para lograr la generación de vapor requerida, será necesario contar con una respectiva fuente de agua que se suministrará a la caldera de manera permanente. En este caso, se sugiere mantener una temperatura regulada de 75°C a fin de facilitar el alcance a la temperatura de ebullición (100°C) requerida para los equipos en la industria de la panificación; lo que además, permitirá garantizar la calidad del vapor y

evitar la presencia de oxígeno que pudiera corroer el metal de la caldera o afectar su funcionamiento.

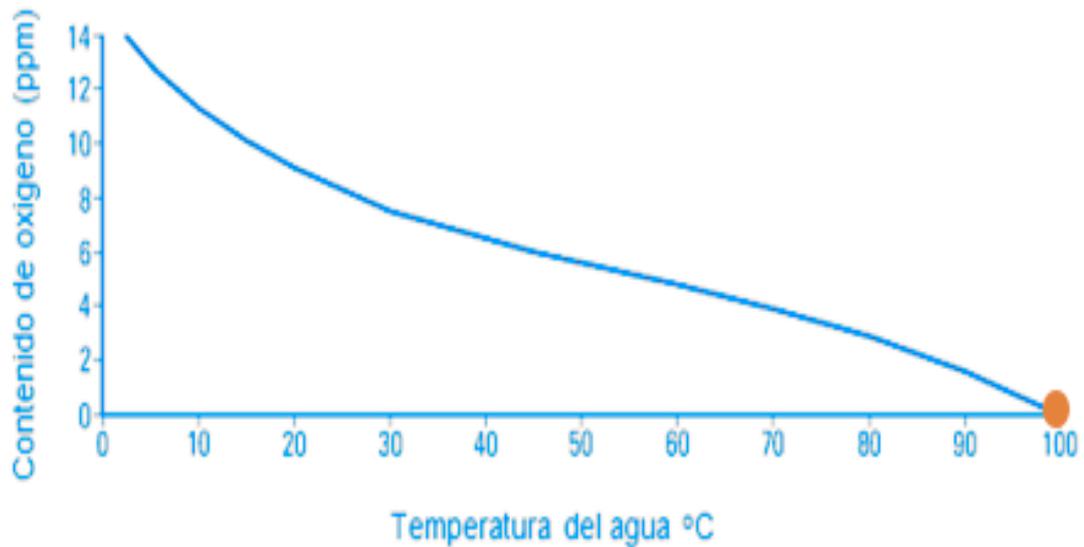


Figura 30. Temperatura de agua en relación a la presencia de oxígeno

Fuente: [13]

En este caso, de acuerdo a las especificaciones técnicas de la caldera pirotubulares, la eficiencia del vapor alcanza el 70% aproximadamente (ver anexo 5). En los sistemas de distribución de vapor que operan en condiciones óptimas se sugiere emplear un economizador, con el cual se logrará precalentar el agua que alimentará a la caldera. Cabe destacar que los componentes a utilizar para la implementación del sistema de alimentación de agua son los siguientes:

- Ingreso de agua
- Tanque de alimentación
- Bomba de alimentación

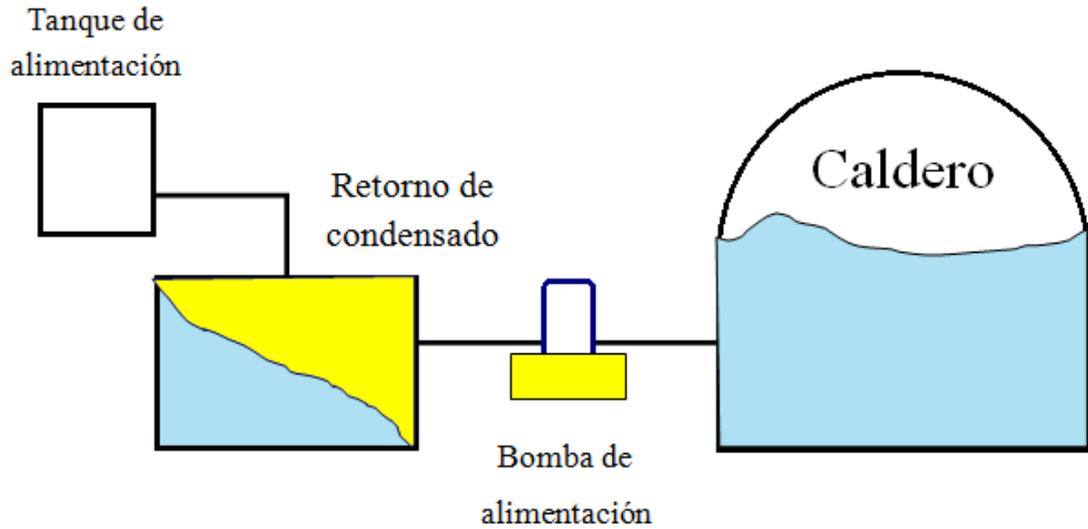


Figura 31. Sistema de alimentación de agua

Fuente: [13]

4.2.1. Cálculo de la capacidad de agua

Para determinar la capacidad de evaporación que presentará la caldera, se debe tomar en consideración la siguiente variable: capacidad de evaporación es igual a 0.069 galones americanos por minuto * caballos de caldera (CC), o su equivalente que corresponde a 0.261 litros por minuto.

Consecuentemente, para su aplicación en el sector de la panificación, para determinar la evaporación que se requerirá, se aplica la siguiente fórmula:

$$100CC * 0.069 \text{ GPM/CC} = 6.9 \text{ GPM}$$

Por otra parte, para determinar la cantidad necesaria de agua que se deberá proporcionar a la caldera a fin garantizar una adecuada operación, se procederá a aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de bombeo en GPM} = \frac{0.069 * CC * \text{factor de encendido}}{\text{Gravedad específica}}$$

Para su aplicación se consideran los siguientes parámetros:

- CC: Caballos de caldera
- Factor de encendido: Presenta valores correspondiente a bombas de turbina (1.15 a 2.0), y bombas centrífugas (1.10 a 1.15).
- Gravedad específica: 1.0 (aplicado para agua)

En este caso, para la implementación de la caldera en el sector de la panificación, se trabajará con una bomba de tipo turbina, consecuentemente el factor de encendido para la aplicación de la fórmula será de 1.15 de lo cual se obtiene los siguientes resultados:

$$\text{Capacidad de bombeo en GPM} = \frac{0.069 * 100 * 1.15}{1.0}$$

$$\text{Capacidad de bombeo en GPM} = 7.93 \text{ GPM}$$

4.2.2. Capacidad y disensión del tanque de agua

En un sistema de distribución de vapor, la cantidad de vapor que se produce depende específicamente de la cantidad de agua que alimenta la caldera. Por lo tanto, para su aplicación en la industria de la panificación, con base a los parámetros de operación y la capacidad de agua de alimentación requerida, será recomendable que exista un soporte de agua almacenada para garantizar la evaporación en la caldera, como mínimo durante 20 minutos; de tal manera que se logre garantizar la producción diaria en la planta de la empresa.

En este caso, con base a la capacidad de agua de alimentación requerida y el tiempo de reserva estimado; se necesitará de la siguiente reserva mínima de agua:

$$7.93 \text{ GPM} * 20 \text{ min} = 158.6 \text{ galones} = 600 \text{ litros}$$

Es importante considerar que el tanque de alimentación no deberá alcanzar el 100% de su capacidad, por lo que se recomienda una cobertura del 70% de la capacidad total del tanque, con el propósito de prevenir el incremento de la presión que se registra cuando existe un aumento en la temperatura del agua de alimentación. Por lo tanto:

- Reserva mínima/0.7
- $158.6/0.7 = 226.6$ galones

A partir de estos resultados y de acuerdo a al balance térmico con base a los caballos de caldera requeridos (100 CC) es posible establecer la capacidad del tanque de agua de alimentación en galones y su equivalente en pulgadas. Así mismo, determinan la razón de evaporación en galones por minuto, la capacidad GPM, el tamaño del tanque en pulgadas y el tamaño de la válvula de acuerdo a recomendaciones de fabricante (ver anexo 6):

Tabla 14. Características del sistema de alimentación de agua

| Características | Valores |
|-------------------------------------|----------------|
| Potencia de caldera CC | 100 |
| Velocidad de evaporación GPM | 6,9 |
| Capacidad de la bomba en galones | 14 |
| Capacidad del tanque en galones | 200 |
| Tamaño del tanque pulg. | 30*65 |
| Tamaño de la válvula | 3/4" NPT |

Elaborado por: Los autores

Para las empresas panificadoras la potencia de caldera requerida será de 100 CC, la capacidad del tanque de aguade alimentación será de 100 gal., con dimensiones de diámetro de 30” y una longitud de 65”.

4.2.3. Cálculo y selección de bombas de agua

Para la alimentación de agua en la caldera, usualmente se emplean bombas de tipo turbina o bombas de tipo centrífuga; en el caso de las bombas de turbina, generalmente se emplean en industrias cuyos procesos de producción requieren de la operación intermitente de la caldera, sin embargo, pueden emplearse también en casos donde las operaciones se realizan de forma continua en casos que lo ameriten. Por otra parte, las bombas centrífugas se utilizan cuando la caldera opera de manera continua, a pesar que en caso de requerirse pueden utilizarse también cuando las operaciones de la caldera son intermitentes.

Con base a esta perspectiva, para llevar a cabo la selección de las bombas de agua para alimentación de la caldera, es necesario considerar los aspectos que se mencionan a continuación:

- Nivel de operación de la caldera: La operación de la caldera en la industria panificadora es intermitente, por lo que se utilizarán bombas de turbina. Por lo tanto, para su diseño y operación, se determina que la tubería de descarga de la bomba se dirija de forma directa a la caldera, evitando que existan interrupciones en la línea de tuberías.
- Capacidad de la bomba: En este caso, la capacidad de la bomba determina el caudal que ésta puede proporcionar a la caldera, la cual a su vez dependerá de la presión de descarga y la carga neta. Cabe destacar que de acuerdo a la tabla presentada anteriormente, la capacidad recomendada de la bomba para calderas de 100 CC, será de 14 GPM.
- Temperatura del agua: En este caso, la bomba que se utilizará para la alimentación de agua en la caldera, deberá trabajar a temperatura de agua de 212 °F (100 °C).

- Presión de descarga del agua: dado que la conexión de la tubería se realizará de forma directa a la caldera, la presión de descarga será la misma que la presión de operación de la caldera considerando las pérdidas de presión que se producen por su paso por la tubería. Para el tipo de bombas de turbina que se emplearán, usualmente se recomienda como rango aceptable, una presión de descarga de 0.35 a 1.76 kg/cm² o su equivalente de 5 a 25 lbs/plg² sobre la presión de operación de la caldera. En este caso, dado que de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante, la caldera de 100CC trabajará con una presión de operación de 150 psi (10.5 kg/cm² o su equivalente a 149.3 lbs/pulg²), según el rango que se muestra a continuación:

Tabla 15. Presiones aproximadas de descarga de bombas de alimentación

| Presión de operación de la caldera (lbs/plg²) | Presión de descarga de la bomba de alimentación (lbs/plg²) |
|---|--|
| 150 | 187,5 |
| 200 | 250 |
| 400 | 475 |
| 800 | 925 |
| 1200 | 1350 |

Elaborado por: Los autores

$$P_{\text{descarga}} = 10.5 \text{ kg/cm}^2 + 1.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{descarga}} = 12.26 \text{ kg/cm}^2 = 174.38 \text{ lbs/pulg}^2$$

- Carga neta de succión positiva requerida (NPSH): La carga neta de succión positiva determinada en centímetros o pies, se usa generalmente para describir la presión absoluta de un fluido en la entrada de una bomba menos la presión de vapor del líquido. El NPSH siempre es positivo, ya que se expresa en términos de altura absoluta de la columna de fluido en la cabeza del medidor o la cabeza del pie; en este caso, el término “neto” se refiere al cabezal de presión real en la brida de succión de la bomba y no al cabezal de succión estático. Se necesita una cantidad mínima de presión de succión (cabeza) para que una bomba funcione sin cavitación. El NPSH es el factor más crítico en un sistema de

bombeo, puesto que un marginal o inadecuada causará cavitación, que es la formación y el rápido colapso de las burbujas de vapor en un sistema de fluido.

Con base a estos parámetros antes descritos, y tomando en consideración que se trabajará con una bomba tipo turbina de forma intermitente, con una capacidad de 7.93 GPM y una presión de 174.38 lbs/pulg², se procede a realizar el cálculo para determinar la potencia de motor de la bomba, con base a la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{8.33 * \text{capacidad de la bomba} * TDH * GE}{33000 * n}$$

- Capacidad de la bomba= 7.93 GPM
- Gravedad específica: 1.0 (aplicado para agua)
- TDH: Altura total dinámica de descarga

$$TDH = 174.38 \text{ psi} \times \frac{2.31 \text{ pies H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} = 402.818$$

$$HP = \frac{8.33 * 7.93 \text{ GPM} * 402.818 \text{ TDH} * 1}{33000 * n}$$

$$HP = 0.81$$

En este caso, existen motores con potencias que varían entre los 0.35 a 0.85; en este caso, dado que se requiere de una potencia de máxima eficiencia para su aplicación en el sistema de alimentación de agua para la caldera, se trabajará con un motor eléctrico estándar de 1 HP que según especificaciones del fabricante corresponde al modelo H5T-4 (ver anexos 6), en la cual de acuerdo a la curva de la bomba se determina que el NPSH oscila entre los 1.5 m a 2 m.

4.3. Cálculo del sistema de combustible a la caldera

4.3.1. Cálculo del consumo de combustible

Teniendo en cuenta el tipo de caldera “pirotubular” a emplearse al presente diseño del sistema de distribución de vapor, el cálculo para determinar el consumo de combustible se procede a describir, teniendo en consideración la mezcla aire-combustible a fin de que esta sea lo más eficiente posible. Hay que destacar que como parte de los componentes de la caldera, se identifican:

- El tanque de combustible.
- Bomba de combustible.
- Quemadores.
- Accesorios.

Selección del combustible

Se determina que el tipo de combustible que se empleará para la caldera será el Diesel debido a que este es el más empleado dentro de la industria panificadora por su eficiencia, así como por la disponibilidad de este, lo que garantiza que industrias de este tipo, cuenten con insumo suficiente de combustible.

Si la caldera cuenta con una capacidad de 100 CC se determina que el consumo aproximado de combustible será:

- Combustible liviano litros/hora=170,3.
- Combustible pesado litros/hora=159,0.

Teniendo en consideración la capacidad de la caldera que es 100 CC, lo que equivale a 3347900/h, por lo que esta será la energía total que se requerirá, permitiendo posteriormente determinar el caudal del combustible con base a la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{comb}} = \text{Capacidad del caldero} / \text{poder calorífico del fuel oil.}$$

$$\text{Poder calorífico del diesel oil } 138000 \text{ BTU/Gal.}$$

$$Q_{\text{comb}} = 2 \times 3347900 \text{ BTU/h} / 138000 \text{ BTU/Gal.}$$

$$Q_{\text{comb}} = 6.6958000 \text{ BTU/h} / 138000 \text{ BTU/Gal.}$$

$$Q_{\text{comb}} = 48.52 \text{ Gal/h}$$

Las eficacias de las calderas de tubo de fuego trabajan sobre un 70%, lo que permite determinar que la demanda de combustible con base a la siguiente fórmula será de:

$$Q_{\text{comb}} = 48.52 \text{ Gal/h} / 0.7$$

$$Q_{\text{comb}} = 69.314 \text{ GPH}$$

El poder calorífico tanto del Diesel oíl, se toma como referencia según la tabla que se presenta en el (ver anexos 9).

Se presenta a su vez la clasificación de los tanques según la capacidad de estos como punto de referencia:

Tabla 16. *Diámetros para tanques de combustibles según su capacidad*

| CAPACIDAD (Gal) | DIÁMETRO MAX. (m) | ESPESOR MÍNIMO (mm) |
|------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Menos de 1321 | 1.5 | 3.5 |
| 1322 - 2642 | 1.85 | 4.0 |
| 2643 - 3963 | 2.33 | 4.5 |
| 3964 - 6605 | 2.65 | 5.0 |
| 6606 - 13210 | 3.16 | 6.5 |
| 13211 - 20000 | 4.0 | 8.0 |

Fuente: [14]

Elaborado por: Los autores

4.3.2. Cálculo y dimensionamiento del tanque diario

El tanque diario deberá disponer como aspecto general un mínimo de capacidad con la cual el combustible logre abastecer aproximadamente 24 horas de operación para la caldera.

Consideración especial:

- La ubicación de este tanque, deberá estar lo más cercano posible a la caldera para que la alimentación de esta se dé oportunamente.
- Tomando en consideración lo previamente expuesto con relación a la capacidad de la caldera que se requerirá para el presente sistema de distribución de vapor, se determina que al ser 100 caballos de caldera, se determina que se requerirá entre 3000 litros o 792.6 galones para alimentar la caldera.
- En cuanto a la resistencia para que se mantenga el diesel, la temperatura de este será de 212°F (100°C), de lo contrario, si el diesel oíl no alcanza esta, se presentarán problemas relacionadas en el encendido o arranque de la caldera.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento de combustible (GPH) que deberá abastecer 24 horas de funcionamiento de las calderas, se procede a continuación a realizar el cálculo del tanque diario:

$$V_{\text{comb}} = 69.314 \text{ GPH} \times 24 \text{ h}$$

$$V_{\text{comb}} = 1663.5 \text{ Gal}$$

$$D = 1.20 \text{ m}$$

$$L = 2.66 \text{ m}$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} = 1663.5$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{3.14 \times 1.20^2 \times 2.66}{4} = 1663.5 = 3m^3$$

4.3.3. Cálculo y dimensionamiento del tanque principal

Para el cálculo del tanque de combustible principal o también denominado de tanque de reserva, el cual deberá tener una capacidad del almacenamiento para 25 días de funcionamiento, lo que equivale a 600 horas de trabajo de la caldera, se procede a desarrollar a continuación:

$$V_{\text{comb}} = 69.314 \text{ GPH} \times 600 \text{ h}$$

$$V_{\text{comb}} = 41588 \text{ Gal}$$

$$D = 4 \text{ m}$$

$$L = 6.2 \text{ m}$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} = 41588$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{3.14 \times 4^2 \times 6.2}{4} = 41588 = 77m^3$$

4.3.4. Cálculo y selección de la bomba de combustible

Tomando en cuenta que todas las calderas cuentan con una bomba de combustible, la cual es de un tamaño pequeño en comparación con la caldera, teniendo con ello una eficiencia mecánica del 70%. Donde en primer lugar, se procederá a calcular la potencia requerida para el motor eléctrico, que se determina para el sistema de distribución de vapor, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{8,33 \times G \times \text{TDH} \times G_e}{3300 \times \eta}$$

Cabe acotar que los siguientes datos, fueron considerados de las tesis guías o de referencia:

- 8.33.
- 33000

Dónde:

- HP= Caballos de potencia requeridos
- G= Caudal en galones americanos por minuto
- Ge=Gravedad específica.
- η =Eficiencia de la bomba
- TDH= Cabezal de presión de descarga en pies de columna de agua.

- HP= 100
- G= 18.20 GPH

- $G_e = (\text{Diesel oil}) = 0.84$
- $\eta = 0,70$
- $TDH = 150 \text{ lb/pulg}^2$:

Se procede primero a desarrollar el TDH:

$$TDH = 150 \text{psi} \times \frac{2.31 \text{ pies H}_2\text{O}}{1 \text{ psi}} = 346 \text{ pies de H}_2\text{O}$$

En este caso, con base a los datos que se disponen, se realiza el remplazo de los valores en la fórmula anterior, con los datos del presente estudio, se abatiéndose como resultado lo siguiente:

$$HP = \frac{8.33 * 0.401 \text{ GPM} * 346 \text{ pies H}_2\text{O} * 0.84}{33000 * 0,70}$$

$$HP = \frac{970.834}{23100}$$

$$HP = \frac{1}{2}$$

La selección de la bomba requiere de la consideración de la figura 32, tomando como referencia el flujo del combustible de (0.401 GPM) y la presión de 346 pies columna de agua, lo que permite determinar que la bomba más idónea es la de desplazamiento positivo tipo rotatoria y regenerativa.

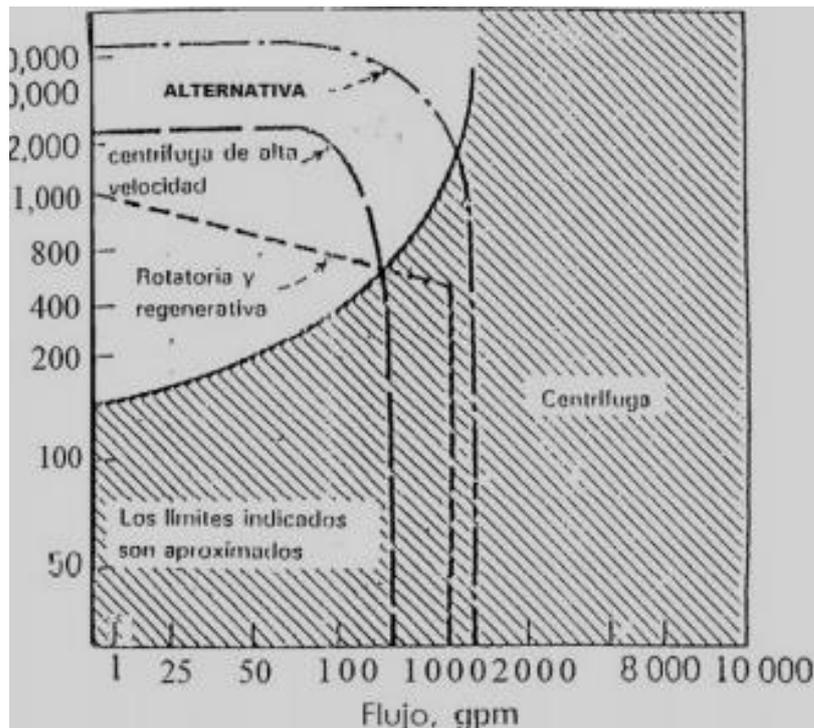


Figura 32. Selección de bombas de acuerdo al flujo y presión requerida

Fuente: [14]

4.4. Cálculo y dimensionamiento de las líneas de vapor y condensado

4.4.1. Criterios en la selección de tuberías de vapor

Con base a la referencia obtenida del proyecto realizado por López 2002, las fuentes primarias que permiten transportar el vapor iniciándose desde la caldera hacia donde se encuentran instaladas las unidades múltiples que emplean el vapor. Las fuentes de vapor, obtienen este del ramal primario y lo transportan a la unidad de calentamiento, para posteriormente ser recibidas por las líneas de descarga de trampas que los llevan de vuelta a las zonas de calderas [33].

Cabe acota que, a la hora de direccionar las tuberías de vapor, se deben tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Si las tuberías son sub-direccionadas y no ubicadas directamente, se generarán problemas relacionados a las caídas de presión y velocidades altas que como consecuencia incurrirán en el ruido y erosión de la tubería.
- Al momento de que la tubería es sobre-direccionada incidirá en la generación de pérdidas de calor necesario para la caldera.

Cabe acotar que tanto el aire, así como la humedad juegan un papel importante para el vapor, esto principalmente por:

- El aire en el vapor ayuda a reducir la temperatura.
- La humedad reduce consecuentemente su propia temperatura.

Actualmente están en el mercado varios software para computadoras desarrolladas particularmente para industrias que requieren accesorias y todos los sistemas de vapor respectivos, entre esos accesorios destacan:

- Diámetro de tuberías.
- Tipos y dimensiones de trampas de vapor.
- Tipos y dimensiones de válvulas.
- Reguladoras, entre otros.

Por lo tanto, dentro del presente apartado se proceden a explicar con base a referencias obtenidas de fabricantes de accesorios para sistemas de vapor.

Generalidades para el cálculo de la tubería de vapor

Las directrices más relevantes que se deben considerar al momento de realizar el cálculo de las tuberías de vapor para la industria panificadora son las siguientes:

- A menor presión de vapor se requiere una tubería de mayor tamaño, lo cual se atribuye al aumento que experimenta el volumen específico.
- A mayor caudal se registra un aumento en la caída de presión en tuberías de determinado tamaño.

- A causa de las altas velocidades que acompañan a toda caída de presión, el vapor erosionará de forma más rápida ciertas áreas de las tuberías, especialmente aquellas en las que existe un cambio de recorrido.
- El vapor que recorre las tuberías a mayores velocidades es capaz de producir ruidos con decibeles más altos.

4.4.2. Distribución de la tubería de vapor

Al momento de llevar a cabo el dimensionamiento de las tuberías de vapor, es fundamental que no se generen caídas de presión bruscas, así como no es recomendable temperaturas altas de los tramos, ni en la tubería principal. Con base a estos parámetros, se procede a continuación a realizar el cálculo del diámetro de tubería de vapor para los diferentes equipos que utiliza la empresa de la industria panificadora:

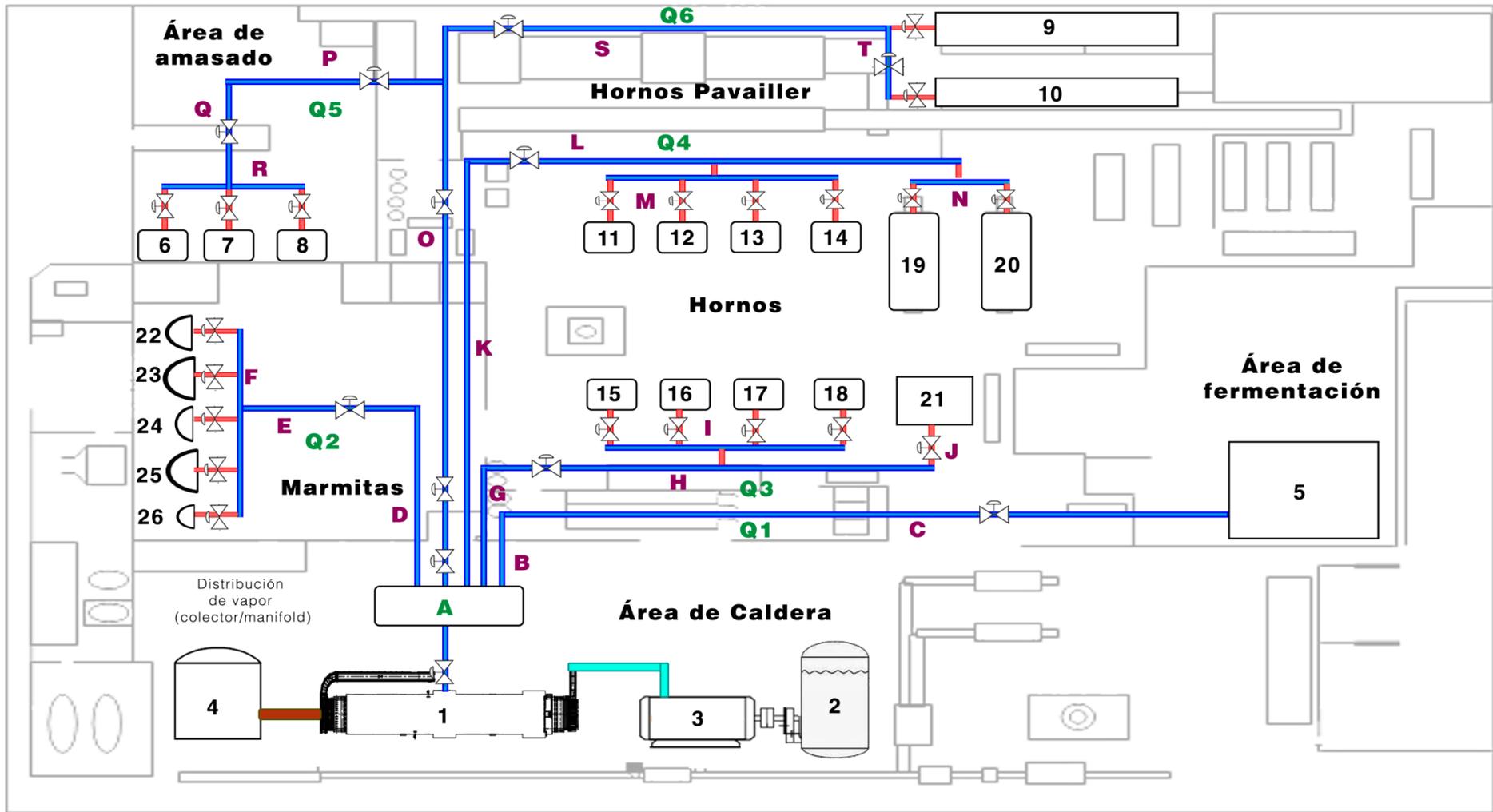


Figura 33. Esquema general de la Distribución de la tubería de vapor

En este caso, se determina que la numeración establecida en el esquema, corresponde a los equipos que se enlistan a continuación:

1. Caldera (100 CC)
2. Tanque de agua
3. Bomba de agua
4. Tanque de combustible
5. Cámara de Fermentación BAKER PERKINGS
6. Amasadora G-PANIZ
7. Amasadora SHAFFER
8. Amasadora BAKER PERKINGS
9. Horno PAVAILLER
10. Horno PAVAILLER
11. Horno giratorio HOBART
12. Horno giratorio ESMACH
13. Horno giratorio SALVA
14. Horno giratorio SALVA
15. Horno giratorio HOBART
16. Horno giratorio ARGENTAL
17. Horno giratorio ARGENTAL
18. Horno giratorio ZUCHELLI
19. Horno túnel IMAFORNI
20. Horno túnel FORNISUD
21. Hornos de repisa BAKER PERKINGS
22. Marmita 1
23. Marmita 2
24. Marmita 3
25. Marmita 4
26. Cocinador al vacío (Marmita 5 ROBO QBO)

4.4.3. Cálculo y dimensionamiento de las tuberías de vapor

Para realizar el dimensionamiento de las tuberías de vapor se deberá ejecutar un procedimiento en el cual se incluyen diagramas referenciales que servirán como

sustento para definir las dimensiones requeridas para las instalaciones de las tuberías. En este contexto, es importante destacar que mientras se mantenga una presión normal de operación de 150 psi en la caldera (según especificaciones del fabricante), se debe considerar la caída de presión que se genera al momento de ingresar a manifold o colector; para su efecto se considera una caída de presión de 3psi según referentes. Por lo tanto, se determina que en el punto de referencia “A” existirá una presión correspondiente a 147 psi.

Con base a estos parámetros, se procede a realizar la distribución de vapor de acuerdo a las áreas antes descritas a fin de abastecer a todos los equipos utilizados en la industria, a través de una serie de tuberías principales y secundarias que deberán abastecer las distancias que se presentan a continuación:

Tabla 17. Distancias a puntos de consumo

| Distancias entre el manifold y los puntos de consumo | | | | |
|---|---------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Distancias del manifold de vapor a puntos de consumo | Tramo de tubería principal (m) | Tramo de tubería secundaria (m) | Distancia total a equipos (m) | Distancia total a equipos (pies) |
| Al área de fermentación (Q ₁) | A - B - C = 24 m |  | 24 m | 78,74 |
| Al área de marminas (Q ₂) | A - D - E = 14 m | E - F = 3 m | 17 m | 55,77 |
| Al área de hornos (Q ₃) | A - G - H = 15 m | H - I = 5 m H - J = 2 m | 22 m | 72,17 |
| Al área de hornos (Q ₄) | A - K - L = 30 m | L - M = 5 m L - N = 3 m | 38 m | 124,67 |
| Al área de amasado y Pavailler (Q ₅ - Q ₆) | A - O = 42 m | P - Q - R = 12 m S - T = 8 m | 62 m | 203,41 |

Elaborado por: Los autores

Tabla 18. Caudales de vapor

| Tramos | Caudales de vapor | |
|---|----------------------------|---------------------------|
| | Demanda de vapor (Lb/h) | Caudal de vapor (Lb/h) |
| Al área de fermentación (Q ₁) | 172 + 10% | 189.2 |
| Al área de marminas (Q ₂) | 755 + 10% | 830.5 |
| Al área de hornos (Q ₃) | 487 + 10% | 535.7 |
| Al área de hornos (Q ₄) | 429 + 10% | 471.9 |
| Al área de amasado (Q ₅) | 52 + 10% | 841.5 |
| Al área de hornos túnel (Q ₆) | 713 + 10% | |

Elaborado por: Los autores

En este caso, para establecer las velocidades requeridas en tuberías principales y secundarias, se toma como referencia la tabla del anexo 11, en la que se recomienda que en tuberías destinadas a distribuir vapor saturado una velocidad de 6000 pies/min para tuberías primarias y una velocidad de 4000 pies/min para tuberías secundarias. Con base a estos datos, se realizan los respectivos cálculos, sustentados en los siguientes esquemas referenciales:

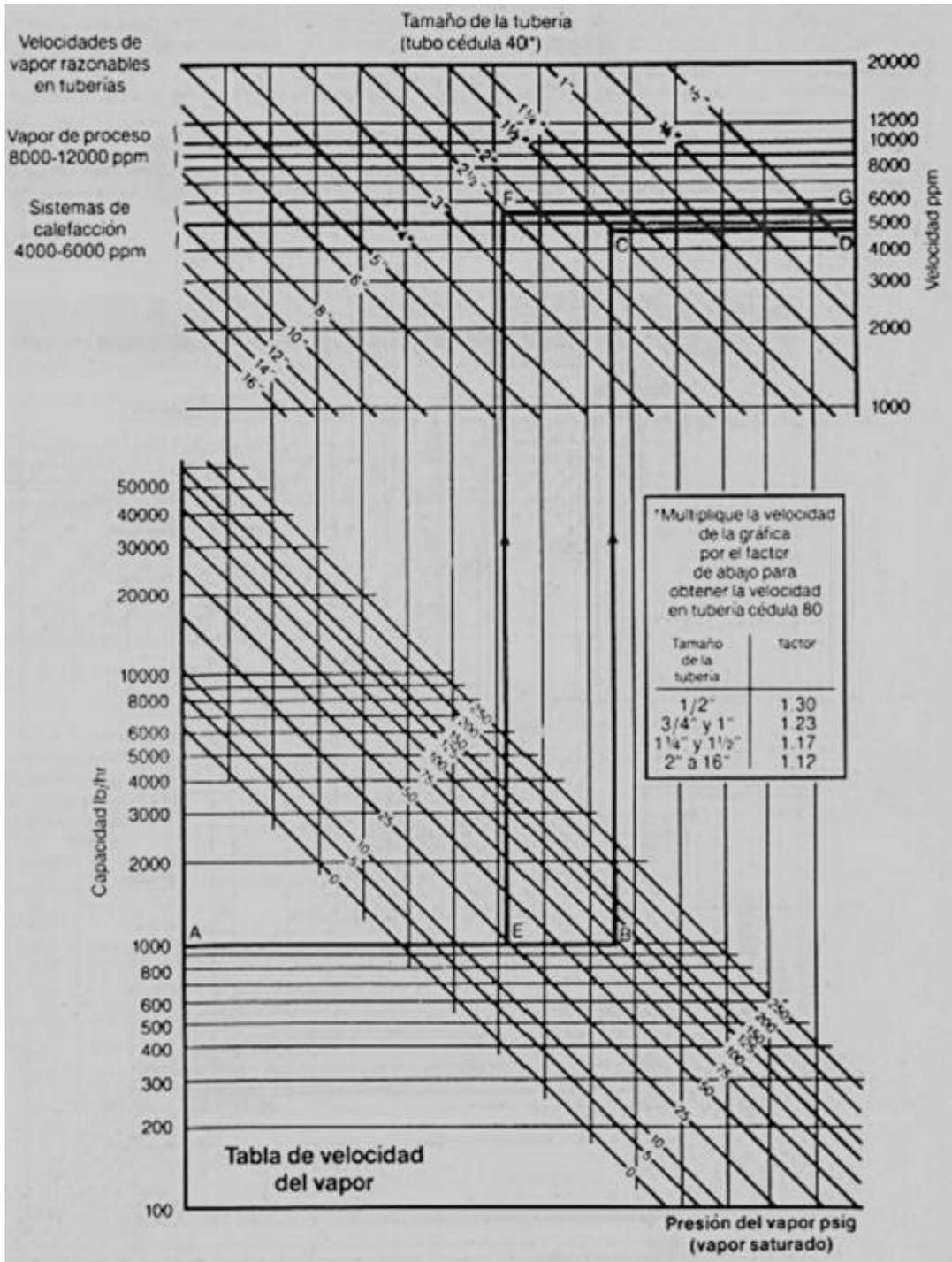


Figura 34. Diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor

Fuente: [14]

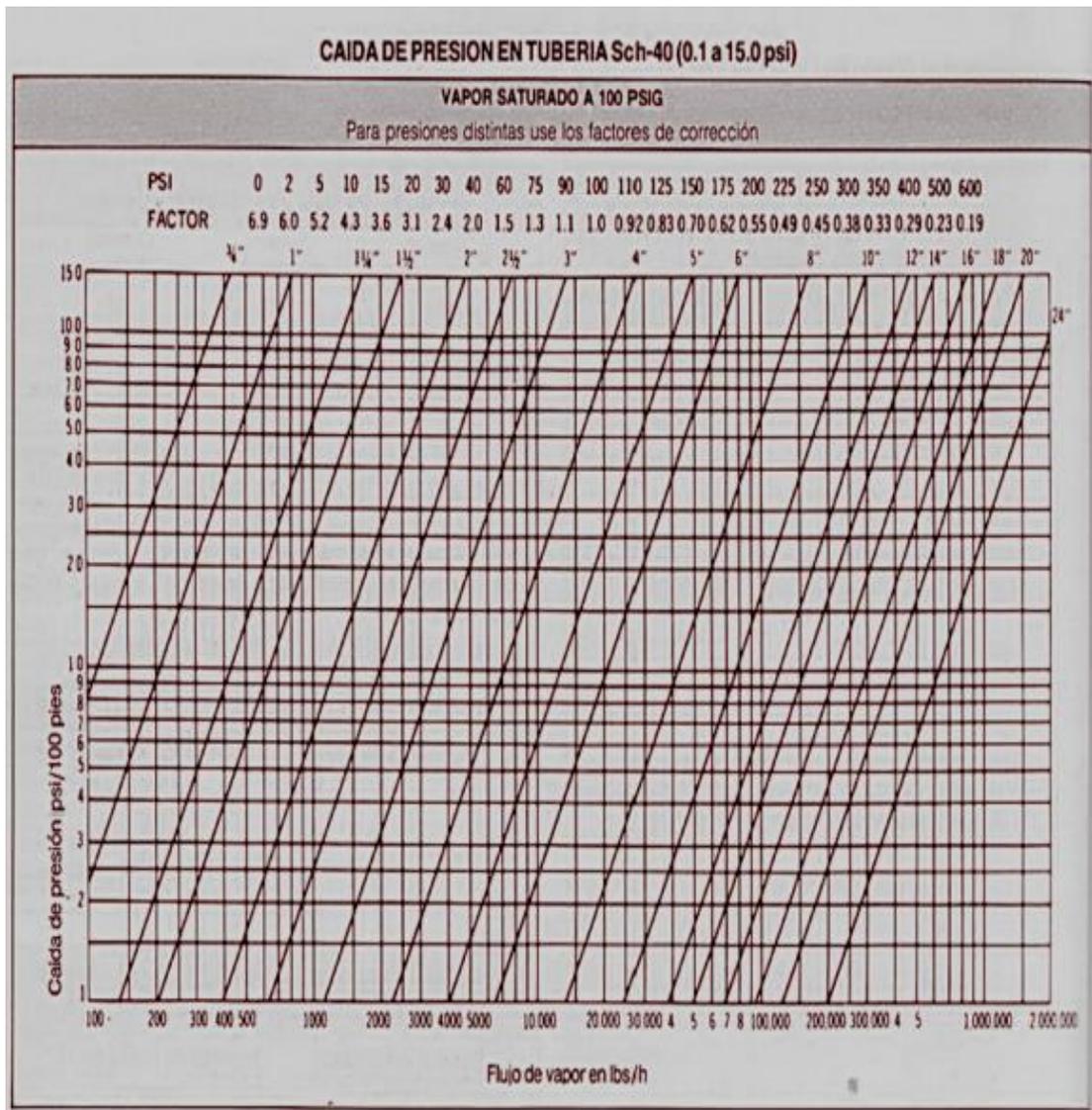


Figura 35. Diagrama para caídas de presión en tuberías Sch-40

Fuente: [14]

4.4.3.1. Dimensionamiento de tuberías principales

Tramo principal Q_1 (A-B-C)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q_1 (área de fermentación), correspondiente a 189.2 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 6000 pies/min se requiere de una tubería de 1/2".

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₁ será de ½”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de fermentación, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ½” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 2.8 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(2.8 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0196 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₁ la cual es de 78.74 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de fermentación. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0196 \text{ psi/pies}) (78.74 \text{ pies} + 7.874 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0196 \text{ psi/pies}) (86.614 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (1.6976344 \text{ psi}) = 145 \text{ psi}$$

Tramo principal Q₂ (A – D – E)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₃ (área de hornos), correspondiente a 830.5 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 6000 pies/min se requiere de una tubería de 1¼”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₃ será de 1 1/4”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de hornos, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de 1 1/4” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 3.9 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(3.9 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0273 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₃ la cual es de 65.62 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de hornos. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0273 \text{ psi/pies}) (55.77 \text{ pies} + 5.577 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0273 \text{ psi/pies}) (61.347 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (1.6747731 \text{ psi}) = 145 \text{ psi}$$

Tramo principal Q₃ (A – G – H)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₃ (área de hornos rotatorios y horno repisa), correspondiente a 535.7 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 6000 pies/min se requiere de una tubería de 1”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₃ será de 1”.

b) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de hornos, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de 1” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 6.7 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(6.7 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0469 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₃ la cual es de 65.62 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de hornos. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0469 \text{ psi/pies}) (65.62 \text{ pies} + 6.562 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0469 \text{ psi/pies}) (72.182 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (3.3853358 \text{ psi}) = 144 \text{ psi}$$

Tramo principal Q₄ (A – K – L)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₄ (área de hornos rotatorios y hornos túnel), correspondiente a 471.9 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 6000 pies/min se requiere de una tubería de 1”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₄ será de 1”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de hornos, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de 1” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 4.5 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(4.5 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0315 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₃ la cual es de 124.67 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de hornos. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0315 \text{ psi/pies}) (124.7 \text{ pies} + 12.47 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0315 \text{ psi/pies}) (137.17 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (4.320855 \text{ psi}) = 143 \text{ psi}$$

Tramo principal Q₅ – Q₆ (A – O)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₅ - Q₆ (área de amasado y hornos Pavailler), correspondiente a 841.5 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 6000 pies/min se requiere de una tubería de 1¹/₄”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área $Q_5 - Q_6$ será de $1\frac{1}{4}$ ".

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de amasadora y de hornos Pavailer, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de $1\frac{1}{4}$ " en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 3.9 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(3.9 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0273 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo $Q_5 - Q_6$ la cual es de 203.41 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de hornos. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0273 \text{ psi/pies}) (203.41 \text{ pies} + 20.341 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0273 \text{ psi/pies}) (223.75 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (6.108375 \text{ psi}) = 141 \text{ psi}$$

4.4.3.2. Dimensionamiento de tuberías secundarias

Tramo secundario Q_2 (EF - 22)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q_2 (área de marmitas - marmita 1), correspondiente a 73 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de $\frac{1}{2}$ ".

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₂ (EF – 22) será de ½”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de marmitas, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ½” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 5.5 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(5.5 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0385 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo secundario Q₂ la cual es de 9.84 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de marmitas. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0385 \text{ psi/pies}) (9.84 \text{ pies} + 0.984 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0385 \text{ psi/pies}) (10.82 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.41657 \text{ psi}) = 146.5 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₂ (EF – 23)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₂ (área de marmitas – marmita 2), correspondiente a 173 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de ¾”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₂ (EF – 23) será de 3/4”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de marmitas, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de 3/4” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 1.6 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(1.6 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0112 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo secundario Q₂ la cual es de 9.84 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de marmitas. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0112 \text{ psi/pies}) (9.84 \text{ pies} + 0.984 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0112 \text{ psi/pies}) (10.82 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.1212288 \text{ psi}) = 146.8 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₂ (EF – 24)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₂ (área de marmitas – marmita 3), correspondiente a 79 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de 1/2”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₂ (EF – 22) será de ½”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de marmitas, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ½” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 5.2 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(5.2 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0364 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo secundario Q₂ la cual es de 9.84 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de marmitas. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0364 \text{ psi/pies}) (9.84 \text{ pies} + 0.984 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0364 \text{ psi/pies}) (10.82 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.394576 \text{ psi}) = 146.6 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₂ (EF – 25)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₂ (área de marmitas – marmita 4), correspondiente a 172 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de ¾”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₂ (EF – 23) será de 3/4”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de marmitas, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de 3/4” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 1.6 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(1.6 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0112 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo secundario Q₂ la cual es de 9.84 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de marmitas. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0112 \text{ psi/pies}) (9.84 \text{ pies} + 0.984 \text{ pies}) =$$

$$147 \text{ psi} - (0.0112 \text{ psi/pies}) (10.82 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.1212288 \text{ psi}) = 146.8 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₂ (EF – 26)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₂ (área de marmitas – marmita 5 ROBO Q), correspondiente a 258 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de 3/4”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₂ (EF – 23) será de 3/4”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de marmitas, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de 3/4” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 4.0 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(4.0 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.028 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo secundario Q₂ la cual es de 9.84 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de marmitas. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.028 \text{ psi/pies}) (9.84 \text{ pies} + 0.984 \text{ pies}) =$$

$$147 \text{ psi} - (0.028 \text{ psi/pies}) (10.82 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.30296 \text{ psi}) = 146.6 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₃ (H-I)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₃ (área de hornos rotatorios), correspondiente a 53 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de 1/2”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₃ - HI será de ½". En este caso, debido a que todos los hornos rotatorios de la sección Q₃ – HI tienen el mismo caudal, se utilizará el mismo diámetro de tuberías para su conexión.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de amasado, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ½" en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 2.8 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(2.8 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0196 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₅ la cual es de 16.40 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de amasado. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0196 \text{ psi/pies}) (16.40 \text{ pies} + 1.64 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0196 \text{ psi/pies}) (18.04 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.353584 \text{ psi}) = 146.6 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₃ (H-J)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₃ (horno repisa), correspondiente a 274 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de ¾".

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₃ - HI será de ¾”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de amasado, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ¾” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 6.0 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(6.0 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.042 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₅ la cual es de 16.40 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de amasado. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.042 \text{ psi/pies}) (16.40 \text{ pies} + 1.64 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.042 \text{ psi/pies}) (18.04 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.75768 \text{ psi}) = 146 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₄ (L-M)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₄ (área de hornos rotatorios), correspondiente a 53 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de ½”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₄ - LM será de ½". En este caso, debido a que todos los hornos rotatorios de la sección Q₄ – LM tienen el mismo caudal, se utilizará el mismo diámetro de tuberías para su conexión.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de amasado, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ½" en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 2.8 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(2.8 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0196 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₅ la cual es de 16.40 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de amasado. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0196 \text{ psi/pies}) (16.40 \text{ pies} + 1.64 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0196 \text{ psi/pies}) (18.04 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.353584 \text{ psi}) = 146.6 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₄ (L-N)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₆ (área de hornos túnel), correspondiente a 108 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la

sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de ½”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₄ -LN será de ½”.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de hornos túnel, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ½” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 4.5 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(4.5 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0315 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₆ la cual es de 9.84 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de hornos túnel. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0315 \text{ psi/pies}) (9.84 \text{ pies} + 0.984 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0315 \text{ psi/pies}) (10.824 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.340956 \text{ psi}) = 146.6 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₅ (P – Q – R)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₅ (área de amasadoras), correspondiente a 17 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la

sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de ½”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₅ será de ½”. En este caso, debido a que todas las amasadoras de la sección Q₅ – PQR tienen el mismo caudal, se utilizará el mismo diámetro de tuberías para su conexión.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de amasadoras, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de ½” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 1.8 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(1.8 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0126 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₆ la cual es de 39.37 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de hornos túnel. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0126 \text{ psi/pies}) (39.37 \text{ pies} + 3.937 \text{ pies}) =$$
$$147 \text{ psi} - (0.0126 \text{ psi/pies}) (43.307 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.5456682 \text{ psi}) = 146 \text{ psi}$$

Tramo secundario Q₆ (S – T)

Con base al diagrama para el dimensionamiento de tuberías de vapor, y de acuerdo al caudal de vapor del área Q₆ (área de hornos Pavailler), correspondiente a 365 lb/h se desliza de manera horizontal hasta llegar a la línea de presión de 147 psi que muestra

el esquema. Al llegar a este punto, se desliza de forma ascendente hasta llegar en la sección superior el área correspondiente a la velocidad ppm que en este caso es de 4000 pies/min se requiere de una tubería de 1”.

Por lo tanto, el diámetro requerido para la tubería principal del tramo correspondiente al área Q₆ será de 1”. En este caso, debido a que todos los hornos Pavailler de la sección Q₆ – ST tienen el mismo caudal, se utilizará el mismo diámetro de tuberías para su conexión.

a) Cálculo de caída de presión

Con base a los datos previamente establecidos, para obtener la caída de presión del tramo correspondiente al área de hornos Pavailler, se toma como referencia el diagrama de la figura 35; para lo cual se procederá a ubicarse en la sección correspondiente a tuberías de 1” en la sección superior. A nivel horizontal en el lado izquierdo de la gráfica, en el lugar de intersección se identifica una caída de presión de 2.7 psi el cual deberá multiplicarse por el factor de corrección correspondiente (0.70) de lo cual se obtiene lo siguiente:

$$(2.7 \text{ psi}/100 \text{ pies}) * 0.70 = 0.0189 \text{ psi/pies}$$

Debido a que ya se ha expresado la longitud correspondiente al tramo Q₆ la cual es de 26.24 pies, se realiza el cálculo de la pérdida de presión en esta sección, lo que permitirá identificar la presión disponible en el área de hornos túnel. Cabe destacar que se tomó en consideración un 10% adicional que puede ser provocado por el uso de otros accesorios, se obtiene lo siguiente:

$$147 \text{ psi} - (0.0189 \text{ psi/pies}) (26.24 \text{ pies} + 2.624 \text{ pies}) =$$

$$147 \text{ psi} - (0.0189 \text{ psi/pies}) (28.864 \text{ pies}) = 147 \text{ psi} - (0.5455296 \text{ psi}) = 146 \text{ psi}$$

A partir de los resultados obtenidos, se procede a presentar el resumen del dimensionamiento de las tuberías de vapor:

Tabla 19. Diámetros de las tuberías de vapor

| Dimensionamiento de tuberías de vapor | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Tramos | Áreas | Ø (pulg) | Presiones disponibles (PSI) |
| Tramos principales | | | |
| Q ₁ | Área de fermentacion | 1/2" | 145 |
| Q ₂ | Área de marmitas | 1 1/4" | 145 |
| Q ₃ | Área de hornos | 1" | 144 |
| Q ₄ | Área de hornos | 1" | 143 |
| Q ₅ - Q ₆ | Área de amasado y hornos pavailer | 1 1/4" | 141 |
| Tramos secundarios | | | |
| Q ₂ (EF-22) | Marmita 1 | 1/2" | 146.5 |
| Q ₂ (EF-23) | Marmita 2 | 3/4" | 146.8 |
| Q ₂ (EF-24) | Marmita 3 | 1/2" | 146.6 |
| Q ₂ (EF-25) | Marmita 4 | 3/4" | 146.8 |
| Q ₂ (EF-26) | Marmita 5 | 3/4" | 146.6 |
| Q ₃ (H-I) | Hornos Rotatorios | 1/2" | 146.6 |
| Q ₃ (H-J) | Hornos Repisa | 3/4" | 146 |
| Q ₄ (L-M) | Hornos Rotatorios | 1/2" | 146.6 |
| Q ₄ (L-N) | Hornos Túnel | 1/2" | 146.6 |
| Q ₅ (P-Q-R) | Amasadoras | 1/2" | 146 |
| Q ₆ (S-T) | Hornos Pavailer | 1" | 146 |

Elaborado por: Los autores

4.4.4. Distribución de las tuberías de retorno de condensado

En cuanto al dimensionamiento de las tuberías de retorno de condensado, al momento que el vapor cede al calor que se requiere en el proceso de calentamiento, regresa condensado a través de un sistema en particular para este procedimiento. Cabe mencionar que el calor contenido posteriormente de haberse dado una revaporización del agua caliente puede emplearse como agua caliente, sin embargo, se recomienda dentro de este tipo de industrias devolverlo al tanque de alimentación de la caldera donde se pueda emplear sin necesidad de que pase por este tratamiento, ahorrando combustible, agua contenida y demás costos por concepto de tratamiento.

Otra consideración que hay que tener en cuenta es que, al momento de diseñar las tuberías de retorno, es necesario hacerlo como si fuese una tubería de agua, es decir con el mismo caudal que se requiere para el precalentado, permitiendo transportar condensado y revaporizado al instante. En ciertas situaciones será posible considerar presiones altas, incrementando el margen de seguridad de 2.5 a 3 veces el caudal del régimen, en este caso será posible considerar el doble del margen.

Tabla 20. Caudales de condensado

| Caudales de condensado | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Sección | Flujo disponible (lb/h) | Por factor (2) (lb/h) | Por factor (2) (Kg/h) |
| Q ₁ | 189.2 | Q ₁ =378,4 | 172 |
| Q ₂ | 830.5 | Q ₂ =1661 | 755 |
| Q ₃ | 535.7 | Q ₃ =1071,4 | 487 |
| Q ₄ | 471.9 | Q ₄ =943,8 | 492 |
| Q ₅ - Q ₆ | 841.5 | Q ₅ - Q ₆ =1683 | 765 |
| Total | | | 2671 |

Elaborado por: Los autores

Se procede a mostrar el diagrama del retorno de condensado, para posteriormente calcular sus diámetros respectivos:

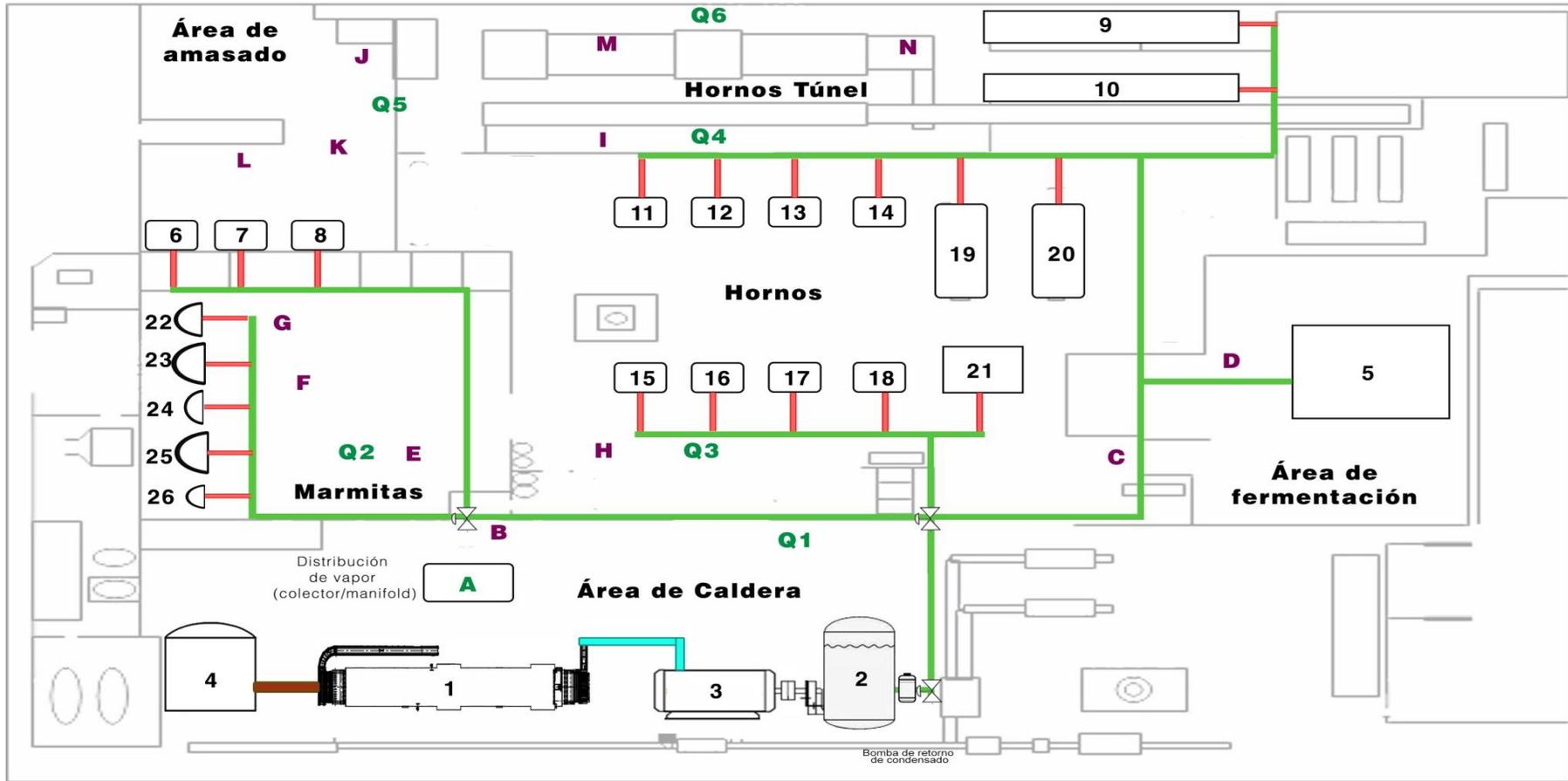


Figura 36. Esquema general de la Distribución de la tubería de retorno de condensado

El esquema presentado sobre la distribución de las tuberías de retorno de condensado, se graficó teniendo presente la consideración de tramos más directos (líneas de retorno de condensado) hacia la bomba de agua a través de los cuales se llevará a cabo el condensado. A su vez, se presenta a continuación en la siguiente tabla, las distancias de los puntos de consumo al tanque de alimentación:

Tabla 21. Distancias de los puntos de consumo al tanque de agua de alimentación

| Tramos | Tramo principal (m) | Desde el equipo al tramo principal (m) | Distancia total (m) |
|---|----------------------------|---|----------------------------|
| Al área de fermentación (Q ₁) | 25 m | 20 m | 45 m |
| Al área de marminas (Q ₂) | 30 m | 25 m | 55 m |
| Al área de hornos (Q ₃) | 25 m | 20 m | 45 m |
| Al área de hornos (Q ₄) | 60 m | 55 m | 115 m |
| Al área de amasado (Q ₅) | 32 m | 27 | 59 m |
| Al área de hornos túnel (Q ₆) | 55 | 50 | 105 m |

Elaborado por: Los autores

4.4.5. Cálculos y dimensionamiento de las tuberías de vapor de retorno de condensado

Con base a la información que se obtiene de los trabajos de referencia, es recomendable que se dimensionen las tuberías de condensado en un rango de caída de presión unitaria del orden de 0.05 a 0.1 Kg/cm² por cada 100 metros de tubería (0.21 a 0.43 Psi por cada 100 pies de tubería). Se toma para esto como referencia la figura 37, donde se presenta la relación del caudal con la pérdida de carga (o caída de presión), donde las líneas inclinadas harán referencia al diámetro de tubería que se necesita considerar para el retorno del condensado según el caudal y la caída de la presión recomendada.

Para considerar los otros puntos para el consumo, con relación a la figura 20, Se ingresan los caudales 765 Kg/, 487 Kg/h y 172 Kg/l, respectivamente, se hace el

desplazamiento horizontalmente hasta llegar a la vertical (caída de presión recomendada en kg por cada 100 metros de tubería) que surge desde una posición superior.

Por ello, para 0.1 kg/cm² por cada 100 metros de tubería, se seleccionará una tubería de 1”.

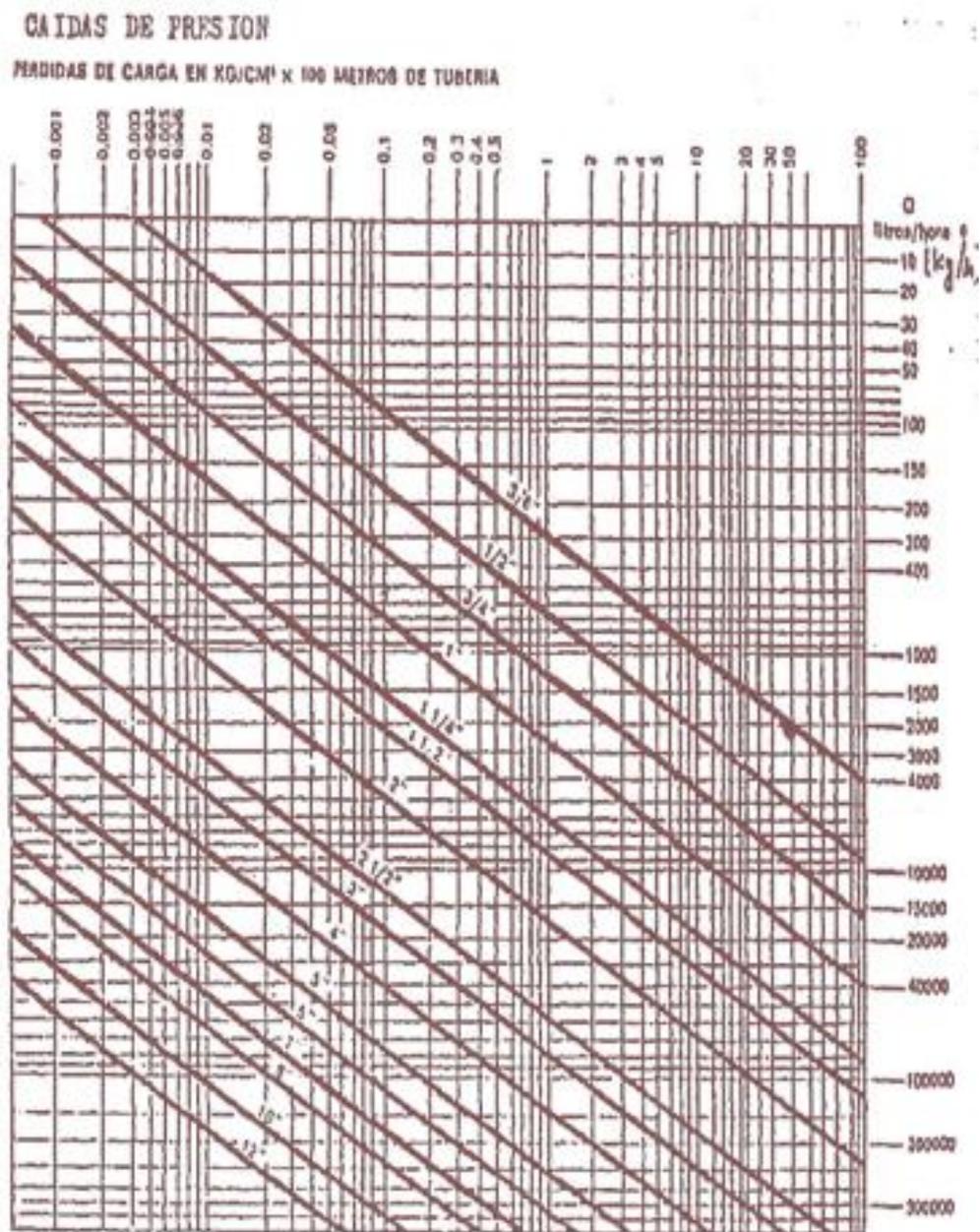


Figura 37. Diagrama para caídas de presión en tuberías de condensado

Fuente: [14]

Para el área de fermentación

Se determina para el área de fermentación, empleando la figura 36, y considerando el caudal 172 Kg/h, se verifica en la figura 37, se desplaza horizontalmente hasta interceptar la vertical (caída de presión).

En este caso, para 0.1 kg/cm^2 para cada 100 metros de tubería se tendrá que seleccionar una tubería de 1/2”.

Marmitas

Se determina para las marmitas, que se requerirán 755 kg/h, se considera este caudal y siguiendo el similar proceso al del punto anterior, se verifica en la figura 37, se desplaza horizontalmente hasta interceptar la vertical (caída de presión).

En este caso, para 0.1 kg/cm^2 para cada 100 metros de tubería se tendrá que seleccionar una tubería de 1”.

Para los hornos Q₃

Para los hornos, se requerirá un caudal de 487 kg/h, se verifica la figura 37, se desplaza horizontalmente hasta interceptar la vertical (caída de presión).

Con 0.1 kg/cm^2 para cada 100 metros de tubería se tendrá que seleccionar una tubería de 3/4”.

Para los hornos Q₄

Para los hornos de mayor tamaño, el caudal requerido será de 492.02 kg/h, verificando la figura 37, desplaza horizontalmente hasta interceptar la vertical (caída de presión).

En este caso, para 0.1 kg/cm^2 para cada 100 metros de tubería se tendrá que seleccionar una tubería de 3/4”

Amasadoras

En lo que respecta a las amasadoras, se requerirán un caudal de 52 kg/h, al verificar la figura 37, se desplaza horizontalmente hasta interceptar la vertical (caída de presión).

En este caso, para 0.1 kg/cm² para cada 100 metros de tubería se tendrá que seleccionar una tubería de 3/8”.

Hornos Pavailer

En cuanto a los hornos túnel, con base a la figura 37, se considera con el caudal 713 kg/h y se desplaza horizontalmente hasta interceptar la caída de la presión recomendada en kg por cada 100 metros de tubería.

Por ende, se requerirá para cada 0.1 kg/cm² por cada 100 metros de tubería una tubería de 1”.

Tabla 22. Dimensionamiento de tuberías y condensado

| DIMENSIONES DE LAS TUBERÍAS DE CONDENSADO | |
|--|------------------------|
| Tramos | Diámetro (pulg) |
| Al área de fermentación (Q ₁) | 1/2 |
| Al área de marminas (Q ₂) | 1 |
| Al área de hornos (Q ₃) | 3/4 |
| Al área de hornos (Q ₄) | 3/4 |
| Al área de amasado (Q ₅) | 3/8 |
| Al área de hornos Pavailer (Q ₆) | 1 |

Elaborado por: Los autores

4.4.6. Parámetros para el diseño de las trampas de vapor

Aplicación de trampas de vapor

En la red de distribución de vapor se debe incluir las correspondientes trampas de vapor, cuya principal función será la de eliminar el vapor condensado, aire y CO₂ que se encuentran acumulados en la caldera. Por lo tanto, será necesario seleccionar una trampa de vapor con capacidad de funcionar contra la contrapresión que pudiera presentarse en la línea de retorno. Con base a esta perspectiva, cabe señalar que el uso de trampas de vapor contribuye a incrementar la eficiencia del sistema, además de proporcionar los siguientes beneficios:

- Se reduce el nivel de pérdida de vapor, lo cual previene el riesgo de filtraciones que pudieran derivar en costos de mantenimiento.
- Contribuye a incrementar la vida útil de la caldera, reduciendo significativamente el riesgo de desgaste prematuro de las partes. En este caso, la selección de una trampa de vapor adecuada, contribuirá a mejorar la eficiencia de operación de la caldera, disminuyendo desperdicios en tiempo y costos que pudieran producirse por la paralización de la caldera en caso de que existan fallas y se requiera ejecutar pruebas y reparaciones.
- Incrementa la resistencia a la corrosión producidas por el condensado. Por lo tanto, las partes de la trampa debe ser seleccionadas de un material resistente.
- Permite que exista un adecuado venteo del aire y de CO₂, y una descarga del aire condensado; esto contribuye a que exista una adecuada transferencia de calor y evita la formación de ácido carbónico corrosivo que pudiera provocar daños en los intercambiadores.

Tipos de trampas de vapor

Para el diseño de una red de distribución de vapor existen diferentes alternativas en trampas de vapor; sin embargo, para su aplicación en la industria de la panificación suelen emplearse trampas de vapor de balde invertido y de flotador y termostático (térmico), dado que presentan características y condiciones de funcionamiento que se adaptan a los requerimientos del sistema de distribución de vapor para esta industria.

En este caso, la trampa de vapor de balde invertido cuenta con una abertura y cierre en purgadores de vapor, lo que permite una abertura suave reduciendo significativamente el desgaste de la trampa. Este tipo de trampas permite la ventilación

del aire condensado y el CO₂, evitando su acumulación en la tubería y la caldera.



Figura 38. Trampa de balde invertido

Fuente: [34]

Por otra parte, las trampas de vapor de flotador y termostática se emplean con mayor frecuencia en sistema de distribución de vapor en los cuales los equipos requieren una presión de vapor modulada. Este tipo de trampas permiten que exista un rápido drenaje del aire condensado e incluye en su composición un ventilador de aire termostático que permite ventar aire no condensable.



Figura 39. Trampa de vapor de flotador y termostática

Fuente: [35]

La trampa de vapor de flotador y termostática basa su funcionamiento en principios de densidad y temperatura; este tipo de trampas incluyen una válvula de boya que opera de acuerdo al principio de densidad. Además, posee una palanca que se encarga de conectar la boya con la válvula y asiento. En este caso, cuando el aire condensado consigue un determinado nivel en el purgador, la boya sube por la abertura de la trampa y realiza el trabajo de drenaje del aire condensado.

Dado que la válvula de descarga se encuentra sumergida en las trampas de vapor flotador, no es posible que ventee el aire o los gases no condensables; por lo que este tipo de válvulas incluyen un venteador termostático de aire ubicado en el área superior de la trampa, lo que permite ventar el aire no condensable. El venteador termostático se apertura a una temperatura menor a la temperatura de saturación, consecuentemente hace posible la manipulación de una gran cantidad de aire a una temperatura levemente disminuida.

Factores de seguridad que influyen en la selección de trampas de vapor

Con la finalidad de aprovechar adecuadamente los beneficios que proporcionan la inclusión de trampas de vapor a la red de distribución de vapor, resulta fundamental que la selección de la trampa se realice con precisión con base a los requerimientos en tamaño como en presión para la industria panificadora; así como también será importante que la instalación se lleve a cabo de la forma correcta y se realice el respectivo mantenimiento. En este caso, se empleará un trampeo unitario, en el cual se incluye trampas de vapor individuales para cada unidad; así como también se consideran los siguientes parámetros para seleccionar las trampas de vapor para el sistema:

- **Carga de condensado:** Cuando se considera la cantidad de condensado, se debe utilizar el factor de seguridad para cubrir factores inesperados, como la fluctuación de la cantidad de condensado, la caída de la presión diferencial y el condensado restante del día anterior.
- **Presión diferencial:** La capacidad de descarga debe ser adecuada para la carga máxima a la presión diferencial mínima en todas las condiciones ambientales.

Por lo tanto, para garantizar la seguridad en el funcionamiento de las trampas de vapor, se debe verificar en operación que las trampas de flotador y termostato tienen la capacidad de abrir contra la presión diferencial máxima, la cual es el equivalente a la diferencia existente entre la presión de la caldera y la presión de la línea de retorno.

- Presión máxima permitida: Para seleccionar las trampas de vapor será necesario verificar en operación que las trampas tienen la capacidad de resistir la presión máxima permitida.

Ubicación de trampas de vapor en la red de distribución de vapor

Para su aplicación en la red de distribución de vapor para la industria panificadora, es usual que se utilicen trampas de vapor cada 20 mts. En este caso, se emplearán conexiones roscadas dado que su instalación es más económica en comparación a las conexiones con bridas de instalar; sin embargo, este tipo de conexión debe atornillarse durante la instalación, lo que significa que la tubería de salida de la trampa debe permanecer desconectada o se debe usar una unión para permitir un reemplazo fácil de la trampa. En las trampas de vapor con conexión roscada, es importante que las roscas de la trampa sigan los estándares oficiales para ayudar a minimizar el mal sellado de la conexión a la tubería conectada.

Durante el proceso de instalación de las trampas de vapor, será importante tomar en consideración las siguientes recomendaciones generales:

- Se debe instalar llaves de paso antes de la trampa de vapor, para facilitar el control.
- En el caso de las tuberías que se encuentran ubicadas de forma horizontal en la planta, se recomienda instalar las trampas con una leve inclinación con el propósito de prevenir posibles bloqueos de vapor en la tubería.

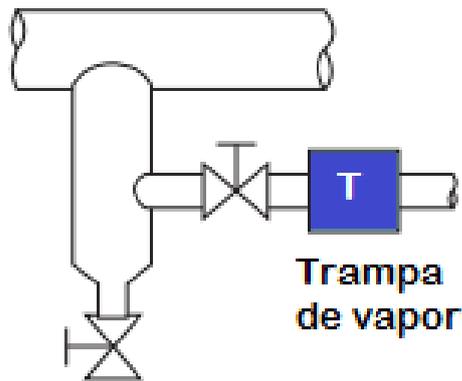


Figura 40. Trampa de vapor
Elaborado por: Los autores

Cálculo de las trampas de vapor

Para hacer el cálculo de las trampas de vapor será necesario tomar en consideración los siguientes lineamientos generales:

- Se deberá considerar la carga máxima de condensado en libras por hora.
- Se deberá considerar la presión al ingreso de la trampa, la cual puede ser menor a la presión que se registra en las tuberías principales.
- Se deberá considerar la contrapresión con base a la cual trabaja la trampa.

La dependencia existente entre la capacidad de descarga máxima de la trampa de vapor y la carga de condensado esperada deberá gestionarse con base a un factor de seguridad, el mismo que podrá estar determinado por las características de trabajo de la trampa, la exactitud de la carga de condensado esperada, y las condiciones de presión al ingreso y la salida de la trampa seleccionada.

Factores de seguridad

Es necesario considerar los factores de seguridad a fin de garantizar que la trampa de vapor opere de manera eficiente durante todo el proceso de producción. En este caso, en temporada seca cuando se registra un descenso en la temperatura ambiental,

es posible que el ingreso de aire sea menor al estimado, consecuentemente se registraría un incremento en la demanda de vapor para abastecer a todos los equipos que se utilizan en la planta panificadora, lo que conduce a una menor presión de vapor y mayor presión en la línea de retorno, mermando significativamente la capacidad de operación de la trampa. Por lo tanto, dado que se utilizará una trampa de vapor de flotador y termostática, y de balde invertido se deberán considerar los siguientes factores de seguridad:

Tabla 23. Factores de seguridad para trampas de vapor

| Tipo de trampa | Factor de seguridad |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Trampa termostática | 2 a 4 |
| Trampa de expansión líquida | 2 a 4 |
| Trampa de flotador y termistática | 1,5 a 2,5 |
| Trampas termodinámicas | 1,2 a 2 |
| Trampas de balde | 2 a 4 |

Elaborado por: Los autores

Para escoger un tipo de trampas de vapor apropiadas se deberá considerar el tipo de aplicación para la cual se recomienda su uso, para ello se toma como referencia la guía que se presenta a continuación:

Tabla 24. Guía de selección de trampas de vapor

| Aplicación | Primera Alternativa | Segunda Alternativa |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Serpentines de Calefacción de aire | | |
| Baja y mediana presión | Flotador y Termostática | N.A. |
| Alta Presión | N.A. | Termodinámica |
| Intercambiadores de Calor | | |
| Pequeños - Alta Presión | Termodinámica | Flotador y Termostática |
| Grandes - Baja y mediana presión | Flotador y Termostática | N.A. |
| Re-calentadores | Flotador y Termostática | N.A. |
| Recipiente con camisa de vapor | | |
| Alta presión | Termodinámica | Flotador y Termostática |
| Baja presión | Flotador y Termostática | Termodinámica |
| Trampas para drenar líneas principales de vapor | | |
| 0 - 15 lbs/pulg ² man | Flotador y Termostática | N.A. |
| 16 - 125 lbs/pulg ² man | Termodinámica | Flotador y Termostática |
| 125 - 600 lbs/pulg ² man | Termodinámica | Balde Invertido |
| Separadores de Vapor | | |
| 0 - 15 lbs/pulg ² man | Flotador y Termostática | N.A. |
| 16 - 125 lbs/pulg ² man | Termodinámica | Flotador y Termostática |
| 125 - 600 lbs/pulg ² man | Termodinámica | Balde Invertido |
| Serpentines de calefacción sumergidos | | |
| Alta presión | Termodinámica | Balde Invertido |
| Baja y mediana presión | Flotador y Termostática | Termostática (de presión equilibrada) |
| Otras Aplicaciones | | |
| Serpentines para tanque de almacenamiento | Expansión Líquida | Termodinámica |
| Serpentines de tubería de vapor (Calefacción de Aire) | Termostática (de presión equilibrada) | Termodinámica |
| Radiadores de vapor | Termostática (de presión equilibrada) | Termodinámica |
| Calentadores de agua (instantáneos) | Flotador y Termostática | N.A. |
| Calentadores de agua (almacenamiento) | Flotador y Termostática | N.A. |

Fuente: [14]

Para efectos del presente proyecto, se considera la utilización de trampas de vapor de flotador y termostática, y las trampas de vapor de balde invertido considerando que de acuerdo a las características antes descritas, este tipo de trampas se ajustan a los requerimientos de la industria panificadora. En este caso, la aplicación se realiza de la siguiente forma:

- Trampas de vapor de balde invertido para los tramos principales.
- Trampas de vapor de flotador y termostático para los tramos secundarios.

Cabe destacar que, para realizar los cálculos, se toma en consideración el valor correspondiente al condensado a descargar, expresado en caudal (Kg/h), según se muestra a continuación:

Tabla 25. Caudales de condensado

| Área | Caudales de Vapor | |
|--|-------------------|---------------|
| | Caudal (Lb/h) | Caudal (Kg/h) |
| Al área de fermentación (Q ₁) | 378.4 | 172 |
| Al área de marminas (Q ₂) | 1661 | 753 |
| Al área de hornos (Q ₃) | 1071.4 | 486 |
| Al área de hornos (Q ₄) | 943.8 | 428 |
| Al área de amasado y Pavailler (Q ₅ - Q ₆) | 1683 | 763 |

Elaborado por: Los autores

En este contexto, es importante mencionar que, para la selección de las trampas de flotador termostático necesario para las conexiones de los equipos en la industria panificadora, se emplea los valores expresados en la tabla 25 y la comparación respectiva expresada en la figura 41, que reflejan las capacidades de condensado en relación a la presión diferencial. Además, se consideran los diagramas referenciales que se presentan a continuación:

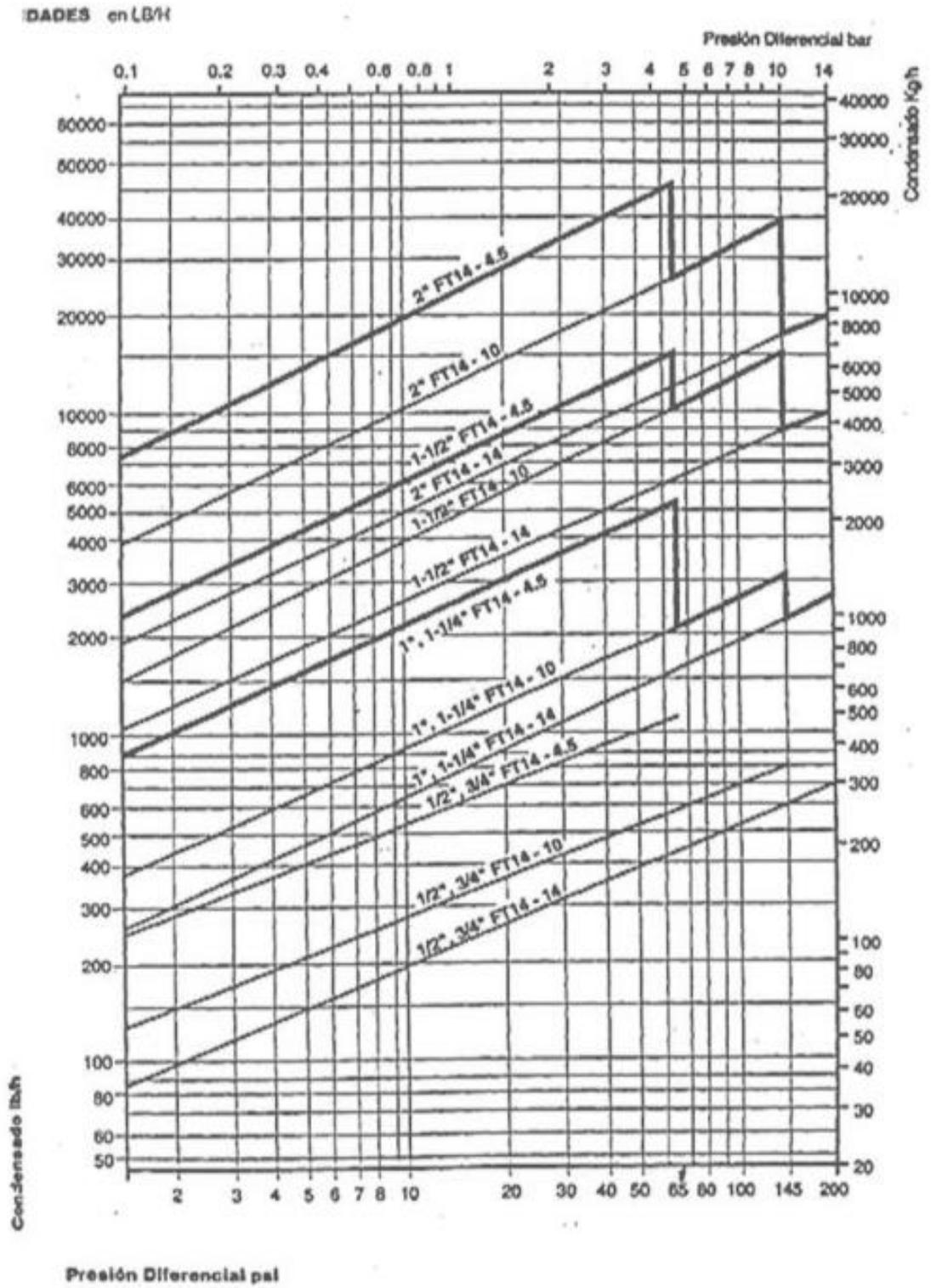


Figura 41. Trampas de vapor de flotador termostáticas

Fuente: [36]

| Modelo | Serie | Máxima presión de operación (psi) | Tamaños disponibles | Material del cuerpo | Conexiones disponibles |
|---|---|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| FT - 15 FT - 30 FT - 75 FT - 125 | Conexiones en Paralelo | 15 30 75 125 | 3/4", 1", 1-1/4" 1-1/2", 2" | Hierro fundido | Rosca NPT |
| FT - 150 FT - 200 | | 150 200 | 3/4", 1" 1-1/4", 1-1/2" | | |
| FT1 - 15 FT1 - 30 FT1 - 75 FT1 - 125 FT1 - 200 | Conexiones en Línea | 15 30 75 125 200 | 1/2", 3/4", 1" | | Rosca NPT Horizontal |
| FT14 - 4.5 FT14 - 10 FT14 - 14 | | 65 145 200 | 1/2", 3/4", 1" 1-1/2", 2" | Hierro Dúctil Hierro Fundido | Rosca NPT Horizontal |
| FT16 - 4.5 FT16 - 10 FT16 - 14 | | 65 145 200 | 1/2", 2" | Acero Inox. | Rosca NPT Horizontal |
| FTB - 20 FTB - 30 FTB - 125 FTB - 175 | | Super Capacidad Conexiones en Paralelo | 20 30 125 175 | 2" 2" 2-1/2" 1-1/2", 2", 2-1/2" | Hierro Fundido |
| FTB - 125 FTB - 175 | 125 175 | | 2-1/2" | Acero Fundido | Rosca NPT, SW |
| FT450 - 4.5 FT450 - 10 FT450 - 14 FT450 - 21 FT450 - 32 | Alta presión Alta capacidad (3 y 4 pulg.) Conexiones en Línea | 65 145 200 300 465 | 3/4", 1" 1-1/2", 2" 3" y 4" | Acero al Carbono | Rosca, SW, Brida horizontal |
| FT46 - 4.5 FT46 - 10 FT46 - 14 FT46 - 21 | Conexiones en Línea | 65 145 200 300 | 1/2", 3/4", 1" 1-1/2", 2" | Acero Inox. | Brida horizontal |

Figura 42. Rangos de trampas de vapor de flotador termostáticas

Fuente: [36]

Área de fermentación (Q_1)

Factor de seguridad: 4

Caudal de condensado: $172 \text{ Kg/h} * 4 = 688 \text{ Kg/h} = 1517 \text{ lb/h}$

De acuerdo al diagrama para caídas de presión en tuberías de condensado (figura 24), con el diámetro de 1/2": $5.5 \text{ kg/cm}^2 = 78.23 \text{ psi}$

Con base a la figura 41, ingresando por el caudal 1517 lb/h y considerando un diferencial de presión de 78.23 psi, es recomendable emplear una trampa de vapor de

flotador y termostático del modelo FT14-14, debido a que este tipo de trampas de vapor es capaz de resistir presiones que alcanzan los 200 psi. Este tipo de trampas de vapor puede combinarse con diferentes modelos que tengan la misma capacidad de resistencia a la presión permitida, según el tipo de material requerido.

Área de marmitas (Q₂)

Factor de seguridad: 2

Caudal de condensado: $753 \text{ Kg/h} * 2 = 1506 \text{ Kg/h} = 3320 \text{ lb/h}$

De acuerdo al diagrama para caídas de presión en tuberías de condensado (figura 24), con el diámetro de 1^{1/4}": $0.28 \text{ kg/cm}^2 = 3.98 \text{ psi}$

Con base a la figura 41, ingresando por el caudal 3320 lb/h y considerando un diferencial de presión de 3.98 psi, es recomendable emplear una trampa de vapor de flotador y termostático del modelo FT14-10, debido a que este tipo de trampas de vapor es capaz de resistir presiones que alcanzan los 145 psi. Este tipo de trampas de vapor puede combinarse con diferentes modelos que tengan la misma capacidad de resistencia a la presión permitida, según el tipo de material requerido.

Área de hornos (Q₃)

Factor de seguridad: 2

Caudal de condensado: $486 \text{ Kg/h} * 2 = 972 \text{ Kg/h} = 2143 \text{ lb/h}$

De acuerdo al diagrama para caídas de presión en tuberías de condensado (figura 24), con el diámetro de 1": $0.60 \text{ kg/cm}^2 = 8.5 \text{ psi}$

Con base a la figura 41, ingresando por el caudal 2143 lb/h y considerando un diferencial de presión de 8.5 psi, es recomendable emplear una trampa de vapor de flotador y termostático del modelo FT14-10, debido a que este tipo de trampas de vapor es capaz de resistir presiones que alcanzan los 145 psi. Este tipo de trampas de vapor puede combinarse con diferentes modelos que tengan la misma capacidad de resistencia a la presión permitida, según el tipo de material requerido.

Área de hornos (Q₄)

Factor de seguridad: 2

Caudal de condensado: $428 \text{ Kg/h} * 2 = 856 \text{ Kg/h} = 1887 \text{ lb/h}$

De acuerdo al diagrama para caídas de presión en tuberías de condensado (figura 24), con el diámetro de 1": $0.65 \text{ kg/cm}^2 = 9.24 \text{ psi}$

Con base a la figura 41, ingresando por el caudal 1887 lb/h y considerando un diferencial de presión de 9.24 psi, es recomendable emplear una trampa de vapor de flotador y termostático del modelo FT14-10, debido a que este tipo de trampas de vapor es capaz de resistir presiones que alcanzan los 145 psi. Este tipo de trampas de vapor puede combinarse con diferentes modelos que tengan la misma capacidad de resistencia a la presión permitida, según el tipo de material requerido.

Área de amasado y Pavailer (Q₅-Q₆)

Factor de seguridad: 2

Caudal de condensado: $763 \text{ Kg/h} * 2 = 1526 \text{ Kg/h} = 3364 \text{ lb/h}$

De acuerdo al diagrama para caídas de presión en tuberías de condensado (figura 24), con el diámetro de 1^{1/4}": $0.19 \text{ kg/cm}^2 = 3.98 \text{ psi}$

Con base a la figura 41, ingresando por el caudal 3364 lb/h y considerando un diferencial de presión de 2.70 psi, es recomendable emplear una trampa de vapor de flotador y termostático del modelo FT14-10, debido a que este tipo de trampas de vapor es capaz de resistir presiones que alcanzan los 145 psi. Este tipo de trampas de vapor puede combinarse con diferentes modelos que tengan la misma capacidad de resistencia a la presión permitida, según el tipo de material requerido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se presentan las conclusiones respectivas, teniendo en cuenta previamente el planteamiento de los objetivos inicialmente descritos al inicio del proyecto:

- En lo que respecta a la demanda de vapor que se requiere para la industria panificadora, con base a los cálculos realizados, se determina según los equipos a emplearse, una demanda de 75.56 CC, y adicionando el factor de seguridad del 20%, el cual corresponderá a posibles pérdidas por radiación y convección que pudieran presentarse en la línea de tuberías o por la operación de las maquinarias, obteniéndose una demanda total de 90.67 CC.
- El tipo de caldera que se seleccionó para la implementación de una red de distribución de vapor en esta industria, según sus características fue la caldera pirotubular con capacidad de 100 CC, donde la temperatura a suministrar será de 212 °F (100 °C).
- Al momento de diseñar el sistema de agua de alimentación y combustible del sistema generador de vapor, teniendo en cuenta los requerimientos de vapor en la industria panificadora y el tiempo de operación requerido de la caldera, el tipo de combustible sería diésel oíl ya que es el más utilizado en las industrias. Para la alimentación de agua a la caldera, se trabajará con una una bomba de tipo turbina con capacidad de bombeo de 7.93 GPM; además la capacidad del tanque de agua de alimentación será de 158.6 gal., con dimensiones de diámetro de 30” y una longitud de 65”. A su vez, considerando que el agua para alimentación de la caldera generalmente proviene de tuberías, es usual que presente dureza en su composición, por lo tanto, se utilizará un ablandador estándar para lograr el ablandamiento del agua y evitar posibles daños a la caldera.

- En el cálculo y distribución de las líneas de tuberías de vapor y retorno de condensado fue posible identificar que en los tramos principales se requerirá específicamente lo siguiente:
 - En el área de fermentación (Q_1) se requerirá una tubería de hierro negro cédula 40 de $\frac{1}{2}$ "
 - En el área de las mamitas (Q_2) se necesitará una tubería de hierro negro cédula 40 de $1 \frac{1}{4}$
 - Dentro del área de los hornos (Q_3 y Q_4) se requerirá de tuberías de hierro negro cédula 40 de 1".
 - Mientras que para el área del amasado y de los hornos Pavailier (Q_5 y Q_6) se requerirá tuberías de hierro negro cédula 40 de $1 \frac{1}{4}$.
- Para los tramos secundarios, los requerimientos para las tuberías de vapor son:
 - En el área de marmita 1, marmita 3, hornos rotatorios, hornos túnel y amasadoras, se requiere tuberías de hierro negro cédula 40 de $\frac{1}{2}$ ".
 - Para el área de marmita 2, marmita 4, marmita 5, y horno repisa, se requiere tuberías de hierro negro cédula 40 de $\frac{3}{4}$ ".
 - En cuanto a los hornos Pavailier, se requiere tuberías de hierro negro cédula 40 de 1".
- En lo que respecta a las tuberías de retorno de condensado, se determina la necesidad por área de estas son:
 - Para el área de fermentación (Q_1), se requiere tubería de hierro negro cédula 40 de $\frac{1}{2}$ ".
 - En cuanto al área de marmita (Q_2), se requiere tubería de hierro negro cédula 40 de 1".
 - Para los hornos (Q_3 , y Q_4), se requiere tubería de hierro negro cédula 40 de $\frac{3}{4}$ ".
 - Para el área de amasado (Q_5), se requiere tubería de hierro negro cédula 40 de $\frac{3}{8}$ ".
 - Finalmente, para los hornos Pavailier (Q_6), se requiere tubería de hierro negro cédula 40 de 1".
 -

- A nivel general el caudal de condensado se estima por 2671 Kg/h. En lo que respecta a los tramos y distancia total para el tanque de agua de alimentación del sistema de condensado, irá desde los 45 metros (área de fermentación), hasta la máxima distancia identificada de 115 metros (área de hornos Q₃). De igual manera se requerirán tuberías de diferentes diámetros teniendo en consideración los metros de distancia hacia la bomba de condensado.
- En cuanto a la selección y ubicación de las trampas de vapor en el sistema generador de vapor se determina que las más comunes de considerar son las de balde invertido y de flotador y termostático, puesto que dada sus características permite drenar eficientemente el condensado y no condensado. En cuanto a su ubicación por lo general debe darse cada 20 metros, empleando para esto conexiones roscadas.

Recomendaciones

Para la implementación del sistema de distribución de vapor en la industria panificadora, se recomienda considerar el aislamiento de las tuberías mediante la incorporación de mantas removibles, lo cual permitirá conservar el régimen térmico necesario de los equipos y a su vez permitirá que exista un ahorro de energía puesto que se disminuirá significativamente la pérdida de calor.

Así mismo, se recomienda implementar una planta de tratamiento de agua, a fin de garantizar la eficiencia de la red de distribución de vapor a implementarse en la industria panificadora, es necesario tomar en consideración el agua de alimentación que se suministra a la caldera, puesto que cuando el agua presenta durezas (contiene una cantidad significativa de calcio y magnesio), es capaz de obstruir las tuberías complicando así la disolución de iones con cargas positivas.

Se recomienda que, una vez diseñado el sistema de distribución de vapor, este sea probado de manera oportuna durante el tiempo normal en el que se requerirá encendido para la producción de los productos, con el objetivo de asegurar que toda su funcionalidad se da con base a los lineamientos técnicos requeridos para la industria panificadora.

Es recomendable que se establezcan posteriores pruebas de control, con el objetivo de asegurar y más que nada, evitar los problemas relacionados con una mala combustión o desperdicio de combustible que afecte el desempeño de la caldera o que, en el peor de los casos, genere un accidente para la caldera.

Es necesario que, una vez evaluado el funcionamiento de la caldera, los niveles de la temperatura se mantengan con base a los centígrados técnicos requeridos, evitando con esto, un sobrecalentamiento de la caldera, así como la afectación de la producción.

Será fundamental establecer un proceso de capacitación previo y actualización de conocimientos para la persona encargada del control del sistema, con el objetivo de que siga las recomendaciones del control general del mismo, así como relacionado con la alimentación y correcta administración de la caldera.

Se deberá efectuar de manera periódica la revisión de las trampas de vapor para así identificar oportunamente fallos en aquellas, donde se vea involucrado la descarga de vapor, el condensado, las temperaturas y demás aspectos concernientes a la caldera y sistema de vapor.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Landázuri Mejía y L. Pozo Recalde, «Diseño del sistema de distribución de vapor y selección del caldero para el hospital San Juan de Dios,» UPS, Cuenca, 2016.
- [2] Absorsistem, «Descripción de Calderas y Generadores de vapor,» Absorsistem, 16 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/descripci%C3%B3n-de-calderas-y-generadores-de-vapor>. [Último acceso: 17 abril 2019].
- [3] P. Fonseca, «Diseño de la red de distribución de vapor para una lavandería industrial,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2011.
- [4] D. Rodríguez y O. Rubio, «Diseño del sistema de distribución de vapor y Selección del caldero para el Hospital San Juan de Dios,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2014.
- [5] A. Alta, P. Ricaurte y M. Tualombo, «Desarrollo de un Modelo de Implementación para la certificación de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la Industria Panificadora "La Vienesa" ubicada en la ciudad de Riobamba.,» Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, 2016.
- [6] Hurst Boiler and Welding Inc., «Hurst series 500,» Hurst Boiler and Welding Inc., Coolidge, 2016.
- [7] L. Brownell, «Uso de Vapor en Hornos de Pan y Bollos,» BannerDay Bakery Solutions, 26 agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.banner-day.com/mx/index.php/documentos-tecnicos/documentos-tecnicos-de-panificacion/33-sistemas-de-vapor/131-uso-de-vapor-en-hornos-de-pan-y-bollos>. [Último acceso: 12 abril 2019].
- [8] Desfor S.A., «Desfor S.A.,» Calderas de dos pasos, 09 julio 2019. [En línea]. Available: <http://www.desforsa.com/calderas-de-dos-pasos-bf20-10>. [Último acceso: 09 julio 2019].
- [9] M. P. Sierra Guzmán, Tipos más usuales de Investigación., Pachuca de Soto - México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2012.
- [10] Wordpress, «Clasificación de las calderas,» Wordpress, 16 septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://todosobrecalderas.wordpress.com/clasificacion-de-las-calderas/>. [Último acceso: 18 abril 2019].
- [11] Grupo Pentair, «Catálogo de selección de bombas,» Grupo Pentair, Illinois, 2014.

- [12] IDEA, «Uso eficiente de energía en calderas y redes de fluidos,» ESIC Editorial, Madrid, 2015.
- [13] Spirax Sarco, «Distribución del vapor,» 19 mayo 2016. [En línea]. Available: <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Distribucion+del+vapor.pdf/fca09a6d-70ab-da86-5d9d-f19321638315>. [Último acceso: 19 mayo 2019].
- [14] Á. Vargas, Calderas industriales y marinas, Guayaquil: Series VZ, 1984.
- [15] Instalaciones Términas S.A., «Calderas Acuotubulares Horizontales,» Instalaciones Términas S.A., 26 agosto 2018. [En línea]. Available: <http://calderasacuotub.com/calderas-acuotubulares-horizontales/>. [Último acceso: 01 junio 2019].
- [16] R. Córdova y J. Larreátegui, Diseño y construcción de un caldero de 7.5 BHP para generación de vapor, Loja: Universidad Nacional de Loja, 2011.
- [17] Ambientum, «La combustión como proceso de transformación energética,» *INFOSALD*, vol. II, nº 14, p. 24, Julio 2016.
- [18] Universidad de Antioquia, «Temperatura de ebullición,» Universidad de Antioquia, 16 junio 2016. [En línea]. Available: <http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslabquimico/02practicass/practica06.htm>. [Último acceso: 13 abril 2019].
- [19] Fenercom, «Guía básica de calderas industriales eficientes,» Fenercom, Madrid, 2014.
- [20] G. Landázuri Mejía y L. Pozo Recalde, «Diseño del sistema de distribución de vapor y selección del caldero para el hospital San Juan de Dios,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2016.
- [21] Universidad de San Carlos de Guatemala, «Aislantes de lana de vidrio para tuberías,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2012.
- [22] J. Rodríguez, Desarrollo de un sistema de control avanzado de la presión del vapor en una caldera de tubos de fuego, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016, pp. 7-8.
- [23] TLV, «Ventajas de usar vapor saturado para calentamiento,» *Revista TLV-Compañía Especialista en Vapor*, vol. 12, nº 5, p. 35, 2013.
- [24] Watson Mc Daniel, «Trampas de vapor,» Watson Mc Daniel, México, D.F., 2018.
- [25] D. Gafaro, Sistema de calderas de vapor, Cholula: Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), 2016.

- [26] J. García, «Diseño y construcción de un sistema de control automático para una caldera pirotubular horizontal,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2013.
- [27] Spirax Sarco, «Distribución de vapor,» Spirax Sarco, Buenos Aires, 2014.
- [28] J. Ortíz, «Sistema de distribución,» Scribd, Madrid, 2017.
- [29] S. Sarco, Design of Fluid Systems, Hook Ups, Steam Utilization., New York: Allentown, 2014.
- [30] A. Castilla y M. León, «Tamaño de tuberías,» Unican, Madrid, 2011.
- [31] R. Graterol, «La investigación de campo,» Universidad de Los Andes, Merida - Estado Merida - Venezuela, 2013.
- [32] Den Boer Baking Systems, «Hornos industriales y sistemas de manipulación para la industria panificadora,» Den Boer Baking Systems, 24 septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.denboerbs.nl/>. [Último acceso: 12 abril 2019].
- [33] Escuela Politécnica del Litoral, «Cálculos e instalación de vapor para el Hotel Barceló Colón Miramar de la ciudad de Salinas,» Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2002.
- [34] CPISTEAM, «Trampas de vapor: Trampas de balde invertido,» CPISTEAM, 13 mayo 2018. [En línea]. Available: https://www.cpisteam.cl/v-c_trampas-balde-invertido.html. [Último acceso: 17 abril 2019].
- [35] CPISTEAM , «Trampas de vapor flotador y termostática,» CPISTEAM vapor y condensado, 15 enero 2019. [En línea]. Available: https://www.cpisteam.cl/v-c_trampas-vapor-de-flotador-y-termostatica.html. [Último acceso: 16 abril 2019].
- [36] Spirax Sarco, «Recuperación de condensado en sistemas industriales de vapor,» Spirax Sarco, Madrid, 2011.
- [37] Petroecuador, «Precios de venta a nivel de terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional,» Petroecuador, Quito, 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones de los equipos de la industria panificadora

| Equipo | Capacidad | Temperatura °C | Tiempo | PSI | dimensiones | Densidad del producto | Calor específico (masa de pan o chocolate) | modelo | serie | Marca |
|-------------------------------|---|----------------|--------|-----|---|------------------------|--|-----------------|------------|----------------|
| AMASADORA SHAFFER 1300 | 75 kg | 60 - 100 | 28 min | | | | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | S13 | 885386 | SHAFFER |
| AMASADORA BAKER PERKINGS 1000 | 75 kg | 60 - 100 | 28 min | | | | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | BP-10 | APA-001 | BAKER PERKINGS |
| AMASADORA G-PANIZ | 75 kg | 60 - 100 | 28 min | | ————— | ————— | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | | | G-PANIZ |
| CAMARA DE FERMENTACION | 2580 kg/hr (45 latas) | 0 - 25 | 18 min | 75 | ————— | ————— | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | TEMPLEX PROOFER | APP-01 | BAKER PERKINGS |
| COCINADOR AL VACIO | 80 lb | 23 - 100 | 60 min | 8 | 160 cm Ø X altura 200 cm (80 r * 2h) | 1300 kg/m ³ | 0.59 kJ/kg. °C (chocolate blanco) | 120 | 2.3041E+12 | ROBO QBO |
| HORNOS DE REPISA | 33 REPISAS (26 unidades de pan por repisa/ capacidad total de masa 528kg) | 115 - 180 | 20 min | | ————— | 1580 kg/hr | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | 970TRAY-OVEN | APA-001 | BAKER PERKINGS |
| HORNO PAVAILLER (2) | 90 MOLDES (216 baguettes por molde de 44,67g) | 60 - 150 | 35 min | | ————— | ————— | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | | | PAVAILLER |
| HORNO TUNEL | 60 latas (24 panes por lata de 70,14g) | 80 - 180 | 15 min | 55 | ————— | ————— | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | | | IMAFORNI |
| HORNO TUNEL | 60 latas (24 panes por lata de 70,14g) | 80 - 180 | 15 min | 55 | ————— | ————— | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | TX | 2171 | FORNISUD |
| HORNO GIRATORIO ARGENTAL (2) | 40 latas | 80 - 180 | 20 min | | | | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | | | ARGENTAL |
| HORNO GIRATORIO ZUCHELLI | 40 latas | 80 - 180 | 20 min | | | | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | 1X1 GS | 3891 | ZUCHELLI |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---|----------|--------|-----|--|------------|---------------------------------|---------|----------|--------|
| HORNO GIRATORIO HOBART | 40 latas (24 panes por lata de 70,14g) | 80 - 180 | 20 min | 400 | _____ | _____ | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | EFRICS | 857928 | HOBART |
| HORNO GIRATORIO ESMACH | 40 latas (24 panes por lata de 70,14g) | 80 - 180 | 20 min | | _____ | _____ | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | PS2-400 | 4080004 | ESMACH |
| HORNO GIRATORIO SALVA (2) | 40 latas (24 panes por lata de 70,14g) | 80 - 180 | 20 min | | _____ | _____ | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | ST-78 | SR-12 | SALVA |
| HORNO GIRATORIO HOBART | 40 latas (24 panes por lata de 70,14g) | 80 - 180 | 20 min | | _____ | _____ | 0,65 kcal/kg. °C (pan) | DR02GHP | 93FDG126 | HOBART |
| MARMITA 1 | 180 lb | 23 - 100 | 35 min | 100 | 90 cm Ø X altura 160 cm (45 r * 1,6h) | 1200 kg/m3 | 0.59 kcal/kg. °C (chocolate) | | | CROEN |
| MARMITA 2 | 200 lb | 23 - 100 | 35 min | 100 | 120 cm Ø X altura 235cm (60 r * 2,35h) | 1200 kg/m3 | 0.59 kcal/kg. °C (chocolate) | | | CROEN |
| MARMITA 3 | 100 L | 23 - 100 | 35 min | 40 | 90 cm Ø X altura 110 cm (45 r * 1,1 h) | 1300 kg/m3 | 0.59 kcal/kg. °C (chocolate) | | | LEGION |
| MARMITA 4 | 200 L | 23 - 100 | 35 min | 100 | 120 cm Ø X altura 150 cm (60 r * 0,9 h) | 1200 kg/m3 | 0.59 kcal/kg. °C (chocolate) | | | |

Anexo 2. Calor específico del chocolate

TABLA A-7

Propiedades de alimentos comunes (conclusión)

b) Otras propiedades

| Alimento | Contenido de agua, % (masa) | Temperatura, T °C | Densidad, ρ kg/m ³ | Conductividad térmica, kW/m · °C | Difusividad térmica, α m ² /s | Calor específico, c_p kJ/kg · K |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------------------|
| Frutas/Vegetales | | | | | | |
| Manzana, jugo de | 87 | 20 | 1 000 | 0.559 | 0.14×10^{-6} | 3.86 |
| Manzanas | 85 | 8 | 840 | 0.418 | 0.13×10^{-6} | 3.81 |
| Manzanas secas | 41.6 | 23 | 856 | 0.219 | 0.096×10^{-6} | 2.72 |
| Chabacanos secos | 43.6 | 23 | 1 320 | 0.375 | 0.11×10^{-6} | 2.77 |
| Plátanos frescos | 76 | 27 | 980 | 0.481 | 0.14×10^{-6} | 3.59 |
| Brócoli | — | -6 | 560 | 0.385 | — | — |
| Moras frescas | 92 | 0-30 | 1 050 | 0.545 | 0.13×10^{-6} | 3.99 |
| Higos | 40.4 | 23 | 1 241 | 0.310 | 0.096×10^{-6} | 2.69 |
| Toronja, jugo de | 89 | 20 | 1 000 | 0.567 | 0.14×10^{-6} | 3.91 |
| Duraznos | 89 | 2-32 | 960 | 0.526 | 0.14×10^{-6} | 3.91 |
| Ciruelas | — | -16 | 610 | 0.247 | — | — |
| Membrillos | — | — | — | — | — | — |
| Papas | 78 | 0-70 | 1 055 | 0.498 | 0.13×10^{-6} | 3.64 |
| Pasas | 32 | 23 | 1 380 | 0.376 | 0.11×10^{-6} | 2.48 |
| Carnes | | | | | | |
| Res, bistec de | 67 | 6 | 950 | 0.406 | 0.13×10^{-6} | 3.36 |
| Res, carne magra de | 74 | 3 | 1 090 | 0.471 | 0.13×10^{-6} | 3.54 |
| Res, carne grasosa de | 0 | 35 | 810 | 0.190 | — | — |
| Res, hígado de | 72 | 35 | — | 0.448 | — | 3.49 |
| Gatos, alimento para | 39.7 | 23 | 1 140 | 0.326 | 0.11×10^{-6} | 2.68 |
| Pollo, pechuga de | 75 | 0 | 1 050 | 0.476 | 0.13×10^{-6} | 3.56 |
| Perros, alimento para | 30.6 | 23 | 1 240 | 0.319 | 0.11×10^{-6} | 2.45 |
| Bacalao | 81 | 3 | 1 180 | 0.534 | 0.12×10^{-6} | 3.71 |
| Salmón | 67 | 3 | — | 0.531 | — | 3.36 |
| Jamón | 71.8 | 20 | 1 030 | 0.480 | 0.14×10^{-6} | 3.48 |
| Cordero | 72 | 20 | 1 030 | 0.456 | 0.13×10^{-6} | 3.49 |
| Puerco, carne magra | 72 | 4 | 1 030 | 0.456 | 0.13×10^{-6} | 3.49 |
| Pavo, pechuga de | 74 | 3 | 1 050 | 0.496 | 0.13×10^{-6} | 3.54 |
| Ternera | 75 | 20 | 1 060 | 0.470 | 0.13×10^{-6} | 3.56 |
| Otros | | | | | | |
| Mantequilla | 16 | 4 | — | 0.197 | — | 2.08 |
| Chocolate, pastel de | 31.9 | 23 | 340 | 0.106 | 0.12×10^{-6} | 2.48 |
| Margarina | 16 | 5 | 1 000 | 0.233 | 0.11×10^{-6} | 2.08 |
| Leche descremada | 91 | 20 | — | 0.566 | — | 3.96 |
| Leche entera | 88 | 28 | — | 0.580 | — | 3.89 |
| Olivo, aceite de | 0 | 32 | 910 | 0.168 | — | — |
| Cacahuete, aceite de | 0 | 4 | 920 | 0.168 | — | — |
| Agua | 100 | 0 | 1 000 | 0.569 | 0.14×10^{-6} | 4.217 |
| | 100 | 30 | 995 | 0.618 | 0.15×10^{-6} | 4.178 |
| Pastel blanco | 32.3 | 23 | 450 | 0.082 | 0.10×10^{-6} | 2.49 |

Anexo 3. Especificaciones de capacidad en hornos giratorios



| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | |
|--|-------------------------|
| Tensión eléctrica (V) | 220-380-440 |
| Frecuencia (Hz) | 50-60 |
| Fase | Mono/Tri |
| Potencia instalada (kW) | 1.95 |
| Entrada nominal de calor diesel (BTU/h) | 168,000 |
| Entrada nominal de calor gas (BTU/h) | 200,000 |
| Entrada nominal de calor eléctrico (BTU/h) | 36 |
| Consumo de combustible | D2-1.2 gal/h |
| | GLP-4.2Kg/h |
| | GN-5.7m ³ /h |
| Gradiente de temperatura | 7°C/min prec. |
| Temperatura máxima de operación | 280°C |
| Área de cocción | 3.75m ² |
| Capacidad de bandejas | 15(65x45cm) |
| Capacidad de producción (24 panes/bandeja) | 360 panes/horneada |

Anexo 4. Caldera pirotubular

SERIE - CF



Modelo CF-ECO

Numero de pasos: 3 y 4 pasos
(retorno de gases calientes)
Tipo: DRY BACK (cámara seca)
Servicio: Vapor saturado
Calidad de vapor: Hasta 99.5%
Capacidades: Desde 10 cc (157 kgs/hr)
hasta 1,200 cc (18.7 ton/hr)
Calderas de baja presión: 150 psi (10.5 kg/cm²)
Calderas de alta presión: 300 psi (21.0 kg/cm²)
Funcionamiento: Automático hasta plc
Combustibles: Gas l.p., Gas natural, Biogas, Diesel,
Combustóleo y dual

Modelo CF-ECO-W

Numero de pasos: 3 y 4 pasos
(retorno de gases calientes)
Tipo: WET BACK (cámara húmeda)
Servicio: Vapor saturado
Calidad de vapor: Hasta 99.5%
Capacidades desde: 100 cc (1.5 ton/hr)
hasta 1,200 cc (18.7 ton/HR)
Calderas de baja presión: Hasta 150 psi (10.5 kg/cm²)
Calderas de alta presión: Hasta 300 psi (21.0 kg/cm²)
Funcionamiento: Automático hasta plc
Combustibles: Gas l.p., Gas Natural, Biogas, Diesel,
Combustóleo y dual

MODELO

CF- G- ECO

Gas Lp / Gas Natural

GF D- ECO

Diesel

GF- DG- ECO

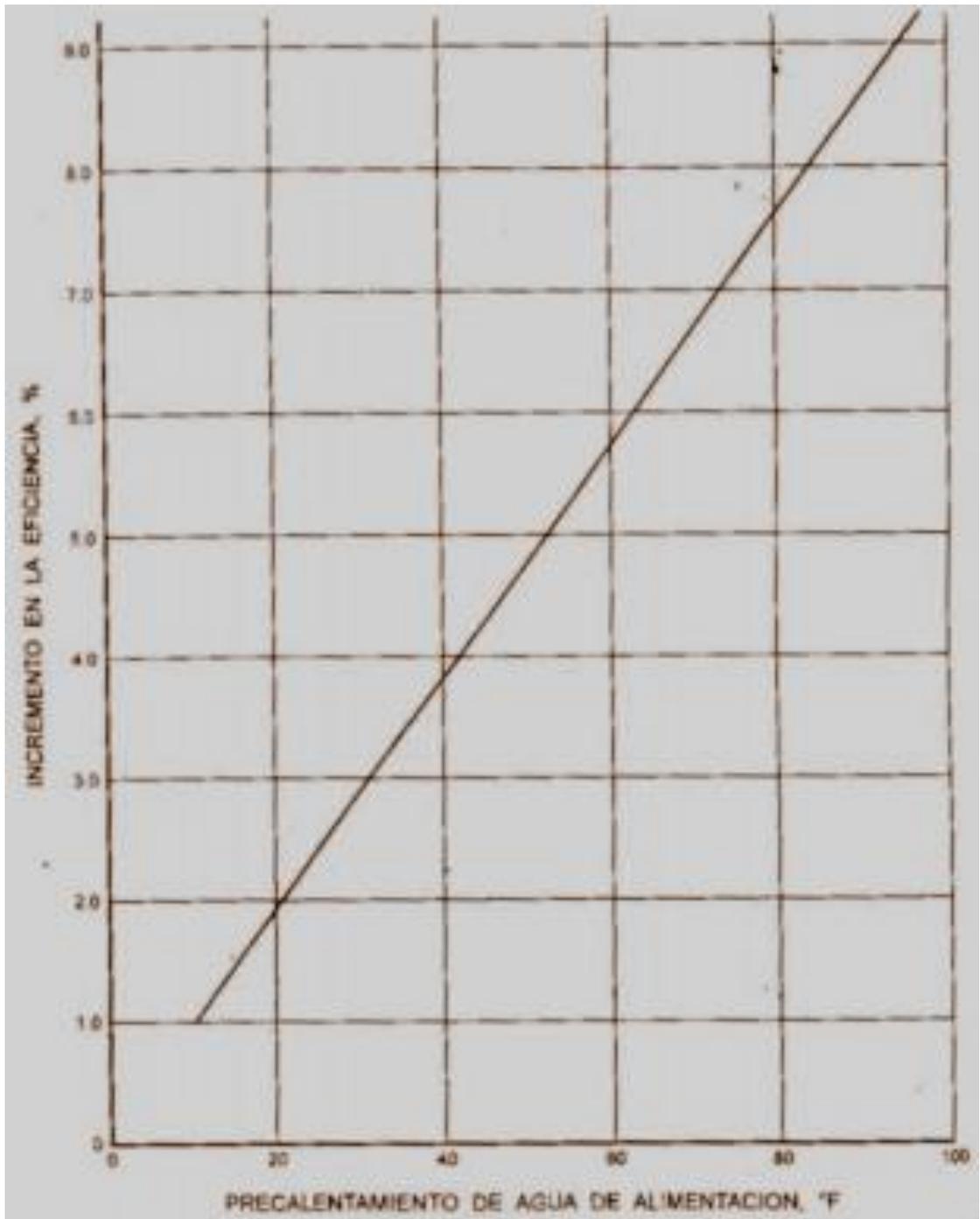
Gas Lp / Gas Natural / Diesel

GF- GC- ECO

Gas Lp / Gas Natural / Combustóleo



Anexo 5. Aumento de la eficiencia por precalentamiento de agua de alimentación



Anexo 6. Capacidad mínima de almacenamiento

110A Tabla Selección

| Caldera CC | Veloc. Evap. GPM | Capacid. Bomba Galones | | | |
|---------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | | | Capacid. Tanque Galones | Tamaño del tanque pulg. | Tamaño de la válvula |
| 15 | 1.0 | 3.9 | 30 | 16X37 | 3/4" NPT |
| 20 | 1.4 | 4.1 | 30 | 16X37 | 3/4" NPT |
| 25 | 1.7 | 4.4 | 30 | 16X37 | 3/4" NPT |
| 30 | 2.1 | 5.0 | 60 | 22X37 | 3/4" NPT |
| 40 | 2.8 | 6.6 | 60 | 22X37 | 3/4" NPT |
| 50 | 3.5 | 7.6 | 60 | 22X37 | 3/4" NPT |
| 60 | 4.2 | 8.5 | 100 | 24X51 | 3/4" NPT |
| 70 | 4.8 | 10.0 | 100 | 24X51 | 3/4" NPT |
| 80 | 5.5 | 11.0 | 100 | 24X51 | 3/4" NPT |
| 100 | 6.9 | 14.0 | 200 | 30X65 | 1" NPT |
| 125 | 8.6 | 17.5 | 250 | 30X65 | 1" NPT |
| 150 | 10.7 | 21.0 | 250 | 36X60 | 1" NPT |
| 200 | 13.8 | 28.0 | 350 | 42X60 | 1-1/2" NPT |
| 250 | 17.3 | 33.0 | 350 | 42X60 | 1-1/2" NPT |
| 300 | 20.7 | 38.0 | 350 | 42X60 | 1-1/2" NPT |
| 350 | 24.2 | 43.0 | 500 | 42X84 | 1-1/2" NPT |
| 400 | 27.6 | 48.0 | 500 | 42X84 | 1-1/2" NPT |

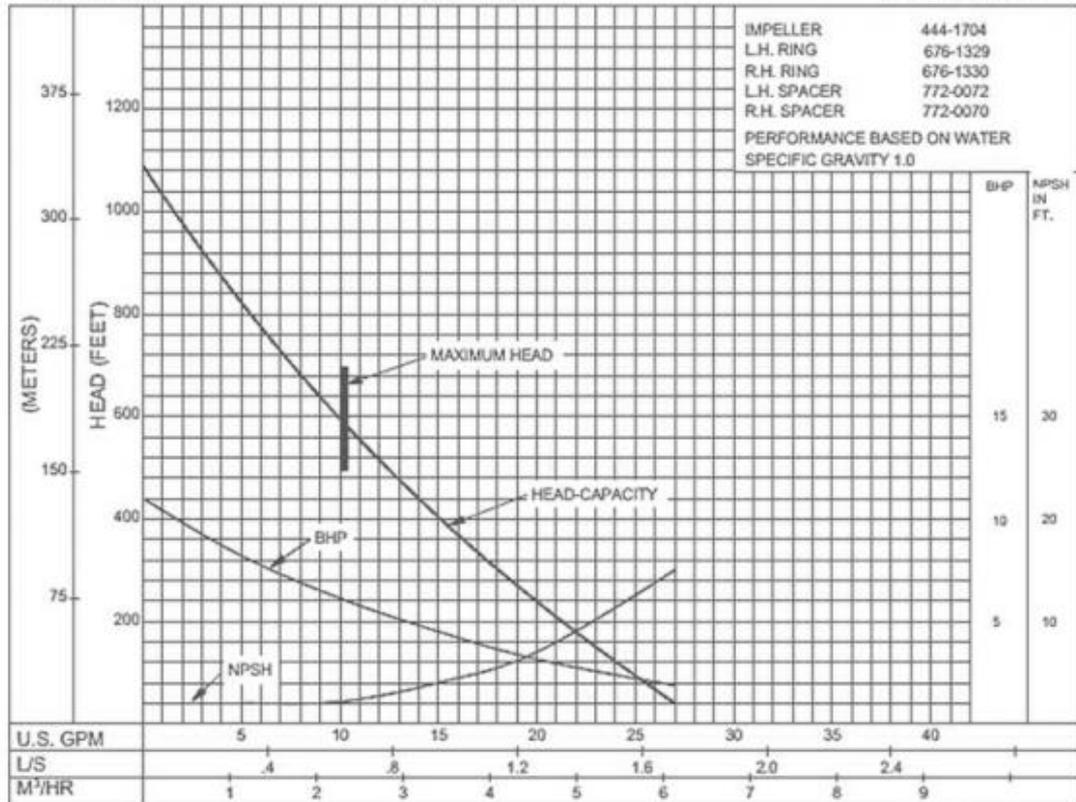
| Caldera CC | Veloc. d. Evapor. Galones | Capacid. Bomba Galones | Presion operacion de la caldera (PSI) Modelo y Potencia | | | | | |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 15# | 100# | 125# | 150# | 200# | 250# |
| 15 | 1.0 | 3.9 | C4-1/3-4 | E4T-1.5-4 | E4T-1.5-4 | F4T-3-4 | D5T-2-4 | E5T-3-4 |
| 20 | 1.4 | 4.1 | C4-1/3-4 | E4T-1.5-4 | E4T-1.5-4 | F4T-3-4 | D5T-2-4 | E5T-3-4 |
| 25 | 1.7 | 4.4 | C4-1/3-4 | E4T-1.5-4 | F4T-2-4 | G4T-3-4 | E5T-3-4 | G5T-7.5-4 |
| 30 | 2.1 | 5.0 | C4-1/3-4 | E4T-1.5-4 | F4T-2-4 | G4T-3-4 | E5T-3-4 | G5T-7.5-4 |
| 40 | 2.8 | 6.6 | E4-1/3-4 | F4T-2-4 | G4T-3-4 | G4T-3-4 | G5T-5-4 | G5T-7.5-4 |
| 50 | 3.5 | 7.6 | E4-1/3-4 | F4T-2-4 | G4T-3-4 | H5-5-4 | G5T-5-4 | G5T-7.5-4 |
| 60 | 4.2 | 8.5 | E4-1/3-4 | G4T-2-4 | H4T-3-4 | H5-5-4 | G5T-5-4 | G5T-7.5-4 |
| 70 | 4.8 | 10.0 | G4-1/2-4 | G4T-2-4 | H5-3-4 | H5-5-4 | G5T-5-4 | H5T-7.5-4 |
| 80 | 5.5 | 11.0 | G4-1/2-4 | G5-2-4 | H5-3-4 | G5T-5-4 | G5T-5-4 | H5T-7.5-4 |
| 100 | 6.9 | 14.0 | I4-3/4-4 | H5-3-4 | H5-3-4 | H5T-5-4 | H5T-5-4 | I5T-10-4 |
| 125 | 8.6 | 17.5 | I4-3/4-4 | H5-3-4 | J5-5-4 | K5-7.5-4 | I5T-7.5-4 | I5T-10-4 |
| 150 | 10.7 | 21.0 | I4-3/4-4 | J5-5-4 | K5-7.5-4 | L5-10-4 | O6T-7.5-4 | E6T-20-4 |
| 200 | 13.8 | 28.0 | M4-1.5-4 | K5-5-4 | L5-10-4 | O6T-7.5-4 | E6T-15-4 | G6T-20-4 |
| 250 | 17.3 | 33.0 | M4-1.5-4 | L5-7.5-4 | E6T-10-4 | E6T-10-4 | G6T-20-4 | - |
| 300 | 20.7 | 38.0 | M4-1.5-4 | L5-7.5-4 | E6T-10-4 | G6T-15-4 | G6T-20-4 | - |
| 350 | 24.2 | 43.0 | P4-1.5-4 | G6-10-4 | G6T-10-4 | G6T-15-4 | K6T-25-4 | - |
| 400 | 27.6 | 48.0 | R4-1.5-4 | J6-15-4 | G6T-15-4 | G6T-15-4 | K6T-25-4 | - |
| 500 | 34.5 | 57.0 | M5-2-4 | G6T-10-4 | J6T-20-4 | J6T-20-4 | - | - |
| 600 | 41.5 | 71.0 | J6-2-6 | J6T-20-4 | J6T-20-4 | J6T-20-4 | - | - |
| 700 | 48.3 | 77.0 | K6-2-6 | K6T-20-4 | K6T-20-4 | K6T-25-4 | - | - |

1-1/4 x 1-1/4 x 5 SERIES 110A

SIZE : H5T

TYPE : 110A

R. P. M. : 1750



PC-153419A

Anexo 7. Tabla de vapor saturado

| PRESION | | | TEMPERATURA DE | ENTALPATIA | | |
|-----------------|--------------|----------|-------------------|------------|--------------------|-------------------|
| A NIVEL DEL MAR | | PSI ABS. | | LIQUIDO | EVAP. EVAPORADO | VAPOR SATURADO |
| PSIG, | IN. HG. VAC. | | | | | |
| | 29.7 | 0.089 | 32 | 0 | 1076 | 1076 |
| | 25.0 | 2.41 | 133 | 101 | 1018 | 1119 |
| | 20.0 | 4.86 | 161 | 129 | 1002 | 1131 |
| | 15.0 | 7.33 | 179 | 147 | 991 | 1138 |
| | 10.0 | 9.8 | 192 | 160 | 983 | 1143 |
| | 5.0 | 12.3 | 203 | 171 | 976 | 1147 |
| 0 | 0 | 14.7 | 212 | 180 | 970 | 1150 |
| 2 | | 16.7 | 218 | 186 | 966 | 1152 |
| 4 | | 18.7 | 224 | 193 | 962 | 1155 |
| 6 | | 20.7 | 230 | 198 | 958 | 1156 |
| 8 | | 22.7 | 235 | 203 | 984 | 1157 |
| 10 | | 24.7 | 240 | 207 | 952 | 1159 |
| 15 | | 29.7 | 250 | 218 | 945 | 1163 |
| 20 | | 34.7 | 259 | 228 | 939 | 1167 |
| 25 | | 39.7 | 267 | 237 | 933 | 1170 |
| 30 | | 44.7 | 274 | 243 | 929 | 1172 |
| 35 | | 49.7 | 280 | 249 | 925 | 1174 |
| 40 | | 54.7 | 287 | 257 | 919 | 1176 |
| 50 | | 64.7 | 298 | 268 | 912 | 1180 |
| 60 | | 74.7 | 307 | 278 | 905 | 1183 |
| 70 | | 84.7 | 316 | 287 | 898 | 1185 |
| 80 | | 94.7 | 324 | 295 | 892 | 1187 |
| 90 | | 104.7 | 331 | 302 | 886 | 1188 |
| 100 | | 114.7 | 338 | 309 | 881 | 1190 |
| 125 | | 139.7 | 353 | 3.23 | 869 | 1192 |
| 150 | | 164.7 | 366 | 338 | 857 | 1195 |
| 175 | | 189.7 | 377 | 350 | 847 | 1197 |
| 200 | | 214.7 | 388 | 361 | 838 | 1199 |
| 250 | | 264.7 | 406 | 381 | 820 | 1201 |
| 300 | | 314.7 | 422 | 398 | 804 | 1202 |
| 350 | | 364.7 | 436 | 414 | 789 | 1203 |
| 400 | | 414.7 | 448 | 427 | 777 | 1204 |
| 500 | | 514.7 | 470 | 453 | 751 | 1204 |

Anexo 8. Precios de Petroecuador



EP PETROECUADOR GERENCIA DE COMERCIALIZACION NACIONAL

**PRECIOS DE VENTA A NIVEL DE TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS
CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL**

PERIODO DE VIGENCIA: DEL 01 AL 30 DE ABRIL DE 2019

DECRETO EJECUTIVO No. 799, 352 y 619

| PRODUCTO | Unidad de medida | PRECIO EN TERMINAL (Incluye el 12% del I.V.A.) Expresado en US\$ |
|--|------------------|---|
| SECTOR PETROLERO MINERO | | |
| ABSORBER PETROLERO | Galones | \$ 2,043087 |
| DIESEL 1 PETROLERO | Galones | \$ 2,043087 |
| DIESEL 2 PETROLERO | Galones | \$ 2,043087 |
| DIESEL PREMIUM PETROLERO | Galones | \$ 2,194334 |
| FUEL OIL PETROLERO | Galones | \$ 0,948679 |
| GASOLINA EXTRA PETROLERO | Galones | \$ 1,880019 |
| EXTRA CON ETANOL PETROLERO | Galones | \$ 1,914797 |
| GASOLINA SUPER PETROLERO | Galones | \$ 1,988698 |
| SECTOR INDUSTRIAL | | |
| DIESEL 1 INDUSTRIAL | Galones | \$ 2,043087 |
| DIESEL 2 INDUSTRIAL | Galones | \$ 2,043087 |
| DIESEL PREMIUM INDUSTRIAL | Galones | \$ 2,194334 |
| EXTRA INDUSTRIAL | Galones | \$ 1,880019 |
| EXTRA CON ETANOL INDUSTRIAL | Galones | \$ 1,914797 |
| SUPER INDUSTRIAL | Galones | \$ 1,988698 |
| FUEL OIL No. 6 INDUSTRIAL | Galones | \$ 1,085063 |
| FUEL OIL LIVIANO | Galones | \$ 0,948679 |
| GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP) INDUSTRIAL | Kilogramos | \$ 0,748263 |
| RESIDUO CEMENTERO | Galones | \$ 0,836701 |
| RESIDUO INDUSTRIAL | Galones | \$ 0,836701 |
| SECTOR NAVIERO | | |
| DIESEL PREMIUM MARINO | Galones | \$ 2,194334 |
| DIESEL PREMIUM TURISTA | Galones | \$ 2,194334 |
| DIESEL 2 MARINO | Galones | \$ 2,043087 |
| DIESEL 2 NACIONAL | Galones | \$ 2,043087 |
| GASOLINA EXTRA | Galones | \$ 1,880019 |
| EXTRA ETANOL MARINO | Galones | \$ 1,914797 |
| SECTOR USO PARTICULAR Y PESCA DEPORTIVA | | |
| DIESEL 2 INTERNACIONAL | Galones | \$ 2,043087 |
| DIESEL PREMIUM INTERNACIONAL | Galones | \$ 2,194334 |
| EXTRA CON ETANOL INTERNACIONAL | Galones | \$ 1,880019 |
| EXTRA INTERNACIONAL | Galones | \$ 1,880019 |
| SUPER INTERNACIONAL | Galones | \$ 1,988698 |
| SECTOR AEREO | | |
| PRODUCTO | Unidad de medida | PRECIO COMERCIALIZADORA EP PETROECUADOR (Incluye el 12% del I.V.A.) Expresado en US\$ |
| AVGAS INTERNACIONAL | Galones | \$ 5,460359 |
| AVGAS NACIONAL | Galones | \$ 2,700320 |
| JET FUEL | Galones | \$ 2,205159 |

Nota: RESOLUCIÓN No. 004-002-DIRECTORIO-ARCH-2015

Fuente: [37]

Anexo 9. Tabla del poder cilíndrico Diesel oíl

| DIESEL | | | | |
|--|------------|-----------|-------------|-------------|
| Poder Calorifico 138.000 Btu/gal ⁽⁶⁾ | | | | |
| Unidad (gal) | Btu | kJ | kcal | kW-h |
| 10 | 1.38E+06 | 1.46E+06 | 3.48E+05 | 4.04E+02 |
| 20 | 2.76E+06 | 2.91E+06 | 6.96E+05 | 8.09E+02 |
| 30 | 4.14E+06 | 4.37E+06 | 1.04E+06 | 1.21E+03 |
| 40 | 5.52E+06 | 5.82E+06 | 1.39E+06 | 1.62E+03 |
| 50 | 6.90E+06 | 7.28E+06 | 1.74E+06 | 2.02E+03 |
| 60 | 8.28E+06 | 8.74E+06 | 2.08E+06 | 2.43E+03 |
| 70 | 9.66E+06 | 1.02E+07 | 2.43E+06 | 2.83E+03 |
| 80 | 1.10E+07 | 1.17E+07 | 2.78E+06 | 3.24E+03 |
| 90 | 1.24E+07 | 1.31E+07 | 3.13E+06 | 3.64E+03 |
| 100 | 1.38E+07 | 1.46E+07 | 3.48E+06 | 4.04E+03 |
| 1.0E+03 | 1.38E+08 | 1.46E+08 | 3.48E+07 | 4.04E+04 |
| 1.0E+04 | 1.38E+09 | 1.46E+09 | 3.48E+08 | 4.04E+05 |
| 1.0E+05 | 1.38E+10 | 1.46E+10 | 3.48E+09 | 4.04E+06 |
| 1.0E+06 | 1.38E+11 | 1.46E+11 | 3.48E+10 | 4.04E+07 |
| 1.0E+07 | 1.38E+12 | 1.46E+12 | 3.48E+11 | 4.04E+08 |
| 1.0E+08 | 1.38E+13 | 1.46E+13 | 3.48E+12 | 4.04E+09 |
| 1.0E+09 | 1.38E+14 | 1.46E+14 | 3.48E+13 | 4.04E+10 |

Anexo 10. Velocidades recomendadas para dimensionamiento de tuberías

| CONDICIONES | | | Velocidad Razonable | |
|---|---------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|
| Fluido | Presión (Lbs / Pulg ²) | Usuarios | Pies / Min | Km / Hr |
| Agua | 50 -150 | Servicios Generales | 300 - 600 | 5.4 - 11 |
| Agua | > 150 | Alimentación a Calderas | 600 - 1,200 | 11-22 |
| Vapor Saturado. | 0 -15 | Calefacción | 4,000 - 6,000 | 73 - 109 |
| Vapor Saturado. | > 50 | Varios | 6,000 - 10,000 | 109 - 182 |
| Vapor Sobrecalentado ó vapor recalentado. | > 200 | Turbinas a vapor | 9,000 - 13,500 | 165 - 247 |



Formato de encuestas

1. ¿Cuál es su nivel de instrucción?

| | |
|--------------|--|
| Secundaria | |
| Técnico | |
| Tercer nivel | |
| Cuarto nivel | |

2. ¿Considera necesario que se implemente un sistema de distribución de vapor para la industria panificadora de Guayaquil?

| | |
|---------------------------------|--|
| De acuerdo | |
| En desacuerdo | |
| Ni de acuerdo, ni en desacuerdo | |

3. ¿Se han realizado estudios técnicos para identificar los equipos necesarios para la distribución y el dimensionamiento de las tuberías para vapor para una industria panificadora?

| | |
|----|--|
| Sí | |
| No | |

4. ¿Cuáles son los sistemas ideales y económicos para la generación de vapor en la industria panificadora en Guayaquil?

| | |
|-------------------------|--|
| Cualderas pirotubulares | |
| Calderas acuatubulares | |

5. ¿Conoce las normas de calidad bajo las cuales se maneja la empresa en la que labora?

| | |
|----|--|
| Sí | |
| No | |

6. ¿Conoce de las políticas de productividad de la empresa?

| | |
|----|--|
| Sí | |
| No | |

7. ¿Ha recibido talleres referentes a Prácticas de Manufactura y Diseños de tuberías dentro de la empresa o fuera de ella?

| | |
|----|--|
| Sí | |
| No | |