

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VAPOR PARA UNA PLANTA  
PROCESADORA DE GRANOS DE SOYA DE 500 KG/H A  
ESTABLECERSE EN LA CIUDAD DE MOYOBAMBA PARA  
OBTENCIÓN DE LECHE DE SOYA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**PRESENTADO POR:**

**RODDY ALCIDES ALVARADO HERRADA**

**JORGE LUIS ALEJOS ZELAYA**  
**INGENIERO MECÁNICO**  
**Reg. CIP N° 26306**

**Callao, Agosto 2019**

**PERÚ**

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to the author or a reviewer, is written across the bottom right portion of the page.

## AGRADECIMIENTOS

A los docentes y personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Callao.

Al asesor y consultor externo, Ingeniero Investigador Carlos **DEDICATORIA** Huayta, cuyo apoyo y orientación fue parte importante en el planeamiento y ejecución de la presente investigación.

A todos las personas e instituciones que me brindaron información para poder realizar la presente tesis.  
A la memoria de mi Madre y mi Padre, que me formaron y se dedicaron a mi.

## INDICE

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
INDICE .....	4
INTRODUCCION .....	7

### AGRADECIMIENTOS

A los docentes y personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Callao.

Al asesor y consultor externo, Ingeniero-Investigador Carlos Juan Astuvilca Huayta, cuyo apoyo y orientación fue parte importante en el planeamiento y ejecución de la presente investigación.

A todos las personas e instituciones públicas y privadas que facilitaron la información para poder realizar la presente tesis.

1.1. El grano de soya .....	15
1.1.1. Origen .....	16
1.1.2. Características .....	17
1.1.3. Producción de granos de soya en el Perú .....	18
1.2. Plantas de procesamiento de granos de Soya .....	19
1.2.1. Tipos de plantas .....	20
1.2.2. Plantas de procesamiento de granos de soya en el Perú .....	21
1.3. Leche de Soya .....	21
1.3.1. Métodos para la obtención de leche de soya .....	21
1.3.2. Proceso productivo .....	24
1.4. Sistemas automáticos en una planta de elaboración de Leche de Soya .....	24
1.5. Sistema de vapor .....	25
1.5.1. Subsistema calderas .....	26
1.5.2. Subsistema de liberación .....	29
1.5.3. Subsistema de ventilación .....	30
1.5.4. Elementos complementarios .....	31

## ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
ÍNDICE .....	4
INTRODUCCIÓN .....	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
1.1. Identificación del Problema. ....	8
1.2. Formulación del Problema de Investigación. ....	9
1.3. Objetivos de la Investigación. ....	9
1.3.1. Objetivo general. ....	9
1.3.2. Objetivos específicos. ....	10
1.4. Justificación.....	10
II. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. Antecedentes del estudio.....	11
2.2. Bases teóricas. ....	15
2.2.1. El grano de Soya. ....	15
2.2.1.1. Usos.....	16
2.2.1.2. Beneficios.....	17
2.2.1.3. Producción de granos de soya en el Perú. ....	18
2.2.2. Planta de procesamiento de granos de Soya. ....	19
2.2.2.1. Tipos de plantas.....	20
2.2.2.2. Plantas de procesamiento de granos de soya en el Perú.....	20
2.2.3. Leche de Soya. ....	21
2.2.3.1. Métodos para la obtención de leche de soya. ....	21
2.2.3.2. Proceso productivo.....	24
2.2.4. Sistemas autónomos en una planta de elaboración de Leche de Soya. ....	24
2.2.5. Sistema de vapor. ....	25
2.2.5.1. Subsistema calderas. ....	26
2.2.5.2. Subsistema de tuberías. ....	29
2.2.5.3. Subsistema de válvulas. ....	30
2.2.5.4. Elementos complementarios. ....	31

2.3. Definición de términos.....	31
III. VARIABLES E HIPÓTESIS .....	35
3.1. Definición de las Variables.....	35
3.2. Operacionalización de Variables.....	35
3.3. Hipótesis.....	35
3.3.1. Hipótesis general.....	35
3.3.2. Hipótesis específicas.....	36
IV. METODOLOGÍA .....	37
4.1. Tipo de Investigación.....	37
4.2. Diseño de la Investigación.....	37
4.3. Población y Muestra.....	37
4.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	37
4.5. Procedimientos de Recolección de Datos.....	38
4.6. Procesamiento Estadístico y Análisis de Datos.....	38
V. RESULTADOS .....	39
5.1. Consideraciones Preliminares.....	39
5.2. Línea base para la propuesta.....	40
5.2.1. Ubicación de la planta.....	40
5.2.2. Mercado objetivo.....	41
5.2.3. Proceso de obtención de leche de soya.....	42
5.3. Diseño del Sistema de Vapor.....	46
5.3.1. Diseño de la Caldera.....	49
5.3.2. Diseño de las tuberías de vapor.....	54
5.3.2.1. Línea de vapor que va de la caldera al distribuidor o manifold... ..	54
5.3.2.2. Líneas de vapor que salen del distribuidor o manifold.....	55
5.3.2.3. Diseño de tuberías según elemento consumidor de vapor.....	56
5.3.2.4. Aislamiento térmico para las tuberías.....	59
5.3.2.5. Plano de instalación del sistema de vapor.....	61
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	63
6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.....	63
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	65
VII. CONCLUSIONES.....	66
VIII. RECOMENDACIONES .....	67

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68
ANEXOS .....	73
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	73
Anexo 2. Máquinas y Equipos que intervienen en la producción de Leche de Soya.....	75
Anexo 3. Rendimiento Útil de las Calderas ( $\eta_u$ ). .....	76
Anexo 4. Tablas Termodinámicas.....	78
Anexo 4.1. Propiedades del agua, vapor sobrecalentado .....	78
Anexo 4.2. Tabla termodinámica para el agua saturada (líquido-vapor).....	79
Anexo 5. Tamaños de las calderas según BHP. ....	80
Anexo 6. Especificaciones técnicas para calderas. ....	81
Anexo 7. Tabla de Vapor de Agua Saturado. ....	82
Anexo 8. Tabla de Velocidades Recomendadas para fluidos. ....	84
Anexo 9. Dimensiones para Tuberías. ....	85
Anexo 10. Especificaciones Técnicas para Tuberías. ....	88
Anexo 11. Porcentaje en Peso del Condensado que se convierte en Vapor Flash .....	90
Anexo 12. Caudal de Vapor Flash, kg/h .....	91
Anexo 13. Aislamiento para Tuberías FIBERGLAS.....	92

VIIIIII

La presente investigación es importante ya que permitirá a las encargadas de implementar la futura planta de procesamiento de leche de soya en la ciudad de Micochmitla, contar con las especificaciones técnicas para diseñar el sistema de vapor de la planta de procesamiento de leche de soya.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la leche de soya consumida en el Perú es importada de otros países, siendo este producto elaborada con soya transgénica. El consumo de la leche de soya ha ido creciendo en el Perú, a tal punto que el estado lo ha convertido en uno de los principales alimentos que componen el desayuno escolar diario de los alumnos de educación básica. Por otro lado, la industrialización de la soya en el Perú se ha limitado a los aceites y las harinas, dejando de lado el potencial que tiene la leche de soya como producto manufacturado. Consciente del potencial de la leche de soya, en la actualidad existen diversas iniciativas en las zonas productoras de grano de soya, por industrializar dicho producto con fines de obtener leche.

En el contexto descrito en el párrafo precedente, es que nació el interés de diseñar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h, a establecerse en la ciudad de Moyobamba; para tal efecto nos propusimos: Determinar las especificaciones técnicas para los subsistemas de calderas, tuberías y válvulas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h; así como seleccionar los elementos complementarios de dicho sistema de vapor.

La presente investigación es importante ya que, permitirá a los encargados de implementar la futura planta de procesamiento de leche de soya en la ciudad de Moyobamba, contar con las especificaciones técnicas para instalar el sistema de vapor de la planta de procesamiento de leche de soya.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Identificación del Problema.

En el Perú el destino industrial del cultivo de la soya se da con fines de obtener dos productos principales, la harina y el aceite. El proceso industrial del grano de soya con fines de obtener leche es casi nulo y se limite a la fabricación artesanal o producción doméstica. El nulo procesamiento industrial de la soya con fines de obtener leche, ha conllevado a que indirectamente en el Perú se consuma productos transgénicos, al respecto Trinidad (2015) señala que la soya constituye una de las formas de consumo de productos transgénicos en el Perú, y que dicho producto en un cien por ciento importada y de la que proviene la llamada leche de soya, se adquieren en Argentina, Brasil, Bolivia y Estados Unidos.

El departamento de San Martín, cuya capital es Moyobamba, es uno de los principales departamentos productores de soya en el Perú, y con mayores perspectivas de crecimiento en la producción de dicho grano, en efecto, el Ministerio de Agricultura y Riego (2015), da cuenta que en la campaña agrícola 2014-2015, en dicho departamento se cultivaron alrededor de 100 hectáreas.

Con respecto a los sistemas autónomos y complementarios intervinientes en el procesamiento de granos de soya con fines de obtener leche, se tiene que una planta procesadora de granos de soya está conformado por diversos sistemas adicionales al sistema de vapor, dichos sistemas son el de agua potable, agua tratada, aire comprimido, enfriamiento y el sistema eléctrico; pero, el sistema de vapor es el más relevante, ya que interviene en los principales procesos industriales, que son cocción, molienda, filtrado y homogenización; luego, para efectos de la presente investigación solo se consideró dicho sistema.

Dado que en la actualidad la leche de soya consumida en el Perú es importada y elaborada con soya transgénica, cuyo consumo no se encuentra regulado en la legislación peruana, aunque si la producción; y teniendo en cuenta que existen diversas iniciativas en las zonas productoras de grano de soya, por industrializar dicho producto con fines de obtener leche; es que nació el interés de



diseñar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h, a establecerse en Moyobamba, la cual será abastecida por la producción proveniente del departamento de San Martín y departamentos aledaños.

## **1.2. Formulación del Problema de Investigación.**

En su contexto general, el problema objeto de estudio fue formulado en los términos siguientes:

¿Cuál es el diseño adecuado para implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba?

En su contexto específico, el problema objeto de estudio fue formulado en los términos siguientes:

- a) ¿Qué requisitos debe cumplir el subsistema de calderas para poder implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h?
- b) ¿Qué requisitos debe cumplir el subsistema de tuberías para poder implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h?
- c) ¿Qué requisitos debe cumplir el subsistema de válvulas para poder implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h?
- d) ¿Qué elementos complementarios se requiere para el sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h?

## **1.3. Objetivos de la Investigación.**

### **1.3.1. Objetivo general.**

Diseñar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h de capacidad para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba.

### 1.3.2. Objetivos específicos.

- a) Determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de calderas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.
- b) Determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de tuberías del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.
- c) Determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de válvulas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.
- d) Seleccionar los elementos complementarios del sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.

### 1.4. Justificación.

**Justificación práctica:** la ejecución de la presente investigación resultó siendo necesaria, ya que la consideración de los resultados obtenidos permitirá a los encargados de implementar la futura planta de procesamiento de leche de soya en la ciudad de Moyobamba, contar con una guía referencial para instalar el sistema de vapor; en ese sentido, a través de la presente investigación se busca contribuir con las especificaciones técnicas de los subsistemas de calderas, tuberías y válvulas; así como, con los elementos complementarios del sistema de vapor.

**Justificación teórica:** la presente investigación contribuye a enriquecer el cuerpo teórico del diseño de sistemas de vapor para plantas procesadoras de leche de capacidad de procesamiento igual a 500 Kg/hora, sobre todo cuando se busca ligar la demanda de materia prima (granos de soya o soja) de la planta con la producción local de dicha materia prima.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio.

Como se señalara anteriormente, en el Perú se carece de experiencias similares a la propuesta en la presente investigación; luego, las investigaciones relacionadas con el problema objeto de estudio, tendrán como referencia a investigaciones desarrolladas en otros países.

En el contexto acabado de señalar, algunos antecedentes de la presente investigación son los que prosiguen.

La tesis titulada «Diseño de una planta de procesamiento de leche de soya para la Fundación Hogar de Cristo» desarrollada por Crespo y Landines (2011), en la cual se expone la metodología seguida para el diseño de los equipos e instalaciones necesarios para la producción de leche de soya, para la Fundación Hogar de Cristo que poseía un proyecto llamado «Vaca Mecánica», programa que tenía la finalidad de ofrecer diariamente 720 desayunos escolares. El costo total de la implementación de dicho proyecto ascendió a US\$ 29 607 en el cual se incluyeron el filtro prensa, 2 bombas, 1 tanque mezclador, 1 llenadora y tuberías de acero inoxidable. Para efectos de diseño de la planta de procesamiento en mención, se siguió el siguiente proceso general:

- En la primera etapa se analizó el uso y distribución del área destinada a la construcción de la planta; luego, mediante la aplicación del sistema de planificación de Lay Out, se determinó la distribución de las áreas y equipos en planta.
- Se estableció las características necesarias en las instalaciones y en el proceso de producción de leche de soya, que al ser aplicadas conservarían la calidad del producto.
- Posteriormente, mediante pruebas en laboratorio se determinó la dimensión del filtro prensa, el cual fue necesario para la etapa de filtrado de leche de soya.

- Finalmente, en base a la producción diaria estimada para la planta, se diseñó y dimensionó los equipos restantes como son: bombas centrífugas, tanque de almacenamiento, motor mezclador, pasteurizador, llenadora y tuberías.

La tesis titulada “Diseño de Estrategias de Introducción para la Línea Leche de Soya de la Empresa de Alimentos Alfa Productos Nordland Ltda. En la Ciudad de Oruro” (Macías, 2003). Dicha investigación se desarrolló teniendo como objetivos: Analizar el producto en cuanto a la marca, envase, precio, variedad, sabor y beneficios para determinar su aceptabilidad y el conocimiento del mismo; identificar los hábitos de consumo en cuanto a la frecuencia, lugar de compra, cantidad y beneficios esperados; determinar un sistema de distribución que permita acceder de mejor manera el mercado; y, detectar la comunicación en cuanto a la promoción de ventas, publicidad, venta personal y relaciones públicas para identificar el grado de utilización y preferencia de medios. En la investigación en cuestión, la autora llega a la conclusión que: los hábitos de consumo, el producto, la distribución y la comunicación son los elementos a ser analizados para el diseño de estrategias, ya que los resultados de la investigación demuestran claramente la ausencia de estos elementos en Mercadotecnia para la introducción de la leche de soya en la ciudad de Oruro. (Macías, 2003),

Otro antecedente tenido en cuenta fue la tesis titulada “Creación de una empresa para la producción y comercialización de leche y granola de soya en el Valle de los Chillos” (Guañuna, 2008). Dicho trabajo de investigación se desarrolló con la finalidad de determinar la pre factibilidad para instalar una empresa dedicada a la elaboración y venta de leche y granola de soya en el Valle de los Chillos en Sangolquí, Ecuador; se propone: Determinar la demanda insatisfecha, el precio y la comercialización de la leche y granola de soya en el Valle de los Chillos; elegir la tecnología y los procesos productivos adecuados que permitan cubrir la demanda existente de los productos de soya; elaborar un modelo de gestión que se adapte a los requerimientos de la empresa para el funcionamiento de la organización; y, aplicar los métodos actuales de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero

a través del tiempo, como la TIR, el VAN y la relación beneficio-costos, para la implantación del proyecto. Las conclusiones a las que llega la autora de la tesis en mención, entre otras fueron:

a) A partir del análisis de mercado se encontró que la comercialización de leche y granola de soya cuenta con las mejores perspectivas para la implementación de la empresa; y que, a pesar de que los productos de soya en el mercado no son muy apreciados, existe una tendencia a el consumo de comida sana con lo que se tiene un mercado creciente de estos productos. b) El análisis técnico estableció que el proceso productivo definido para el proyecto, permite la producción y se ajustan a los niveles de demanda proyectados. c) Teniendo en cuenta el tamaño del proyecto, se determinó el recurso humano necesario para la producción y consolidar la estructura administrativa y organizacional de la empresa; además se definió los perfiles profesionales y habilidades técnicas requeridas. d) La inversión requerida para la puesta en funcionamiento de la empresa no es muy alta, sin embargo la rentabilidad obtenida es aceptable y puede aumentar debido al bajo costo de producción y al gran potencial del mercado poco explorado. (Guañuna, 2008).

Otro antecedente es la investigación titulada "Implantación de Planta Comunitaria para la Producción de leche de soya en el sector de Las Malvinas de la ciudad de Guayaquil" (Aguilera, 2009). En esta investigación se sentó las bases para implantar una metodología de trabajo que permita la ejecución de proyectos productivos y sustentables que involucre a los estudiantes de diferentes carreras de la Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL, quienes serían agrupados y organizados para emprender estos proyectos junto con la comunidad. (Aguilera, 2009). También, en la tesis en mención, se presentan los resultados de la implantación de una planta comunitaria, que para el caso en particular se trata de una planta procesadora de soya para la obtención de leche de varios sabores,

utilizando una metodología de emprendimiento por parte de grupos de estudiantes con los conocimientos mínimos necesarios para abordar los diferentes componentes que implica la formulación y elaboración de estudios, los diseños y la ejecución de un proyecto de inversión de estas características. (Aguilera, 2009). En ese sentido, algunas de las conclusiones a la que se llegó en la investigación en mención, fueron:

- a) El proyecto funciona de manera sustentable, ya que el 88% de su producción es consumida en presentación de 250ml, siendo su ingreso promedio de 272,00 \$/día (5.913,00 \$/mes) y un costo de producción promedio de 4.121,00 \$/mes dejando un excedente de 1.792,00 \$/mes; y, b) Se demostró que la participación de los tres actores, financista, beneficiario y consultores, en esta caso la ESPOL, aportando con el componente técnico y de gestión, cuya combinación es perfecta para crear unidades productivas comunitarias sustentables. (Aguilera, 2009, p.132).

Finalmente en la tesis “Estudio de factibilidad para el diseño de una planta procesadora de lácteos en la ciudad de Chambo, provincia de Chimborazo” (Vinza y Vire, 2011). En dicha tesis se realizó el diseño el estudio técnico de producción y el análisis económico financiero, con la finalidad de aprovechar principalmente la materia prima disponible, la producción de leche de las haciendas Guayllabamba, Titaycún, Airón y Pucate, localizadas en la provincia ecuatoriana de Chimborazo y que a 2011 producían en conjunto alrededor de 8500 litros diarios. El mercado meta del estudio en cuestión fue la ciudad de Riobamba, con una población de 220 919 habitantes quienes arrojaron una demanda insatisfecha proyectada para el año 2011 de 7'403.670 litros/ año de leche, 306.835 Kg/año de queso y 197.960 litros /año de yogurt. Las conclusiones a la que llegaron, entre otras, fueron:

- a) Se propone tres líneas de producción, leche ultra pasteurizada, yogurt de tres sabores y queso fresco; y b) La participación en el mercado de la empresa sería del 20% a nivel provincial, con una capacidad instalada de 6 000 litros diarios, y, una inversión total de US\$ 1'194.468,73. (Vinza y Vire, 2011).

## 2.2. Bases teóricas.

### 2.2.1. El grano de Soya.

El grano de Soya es la semilla de la legumbre del mismo nombre. El grano de Soja o Soya, como producto proveniente de la planta homónima, adopta el mismo nombre de la planta para su designación; es decir, soya se refiere tanto a la planta como a la semilla.

Imagen 2.1. El grano de soja o soya.



*La soja o soya (Glycine max) es una especie de la familia de las leguminosas (Fabaceae) cultivada por sus semillas, de medio contenido en aceite y alto de proteína.*

**Fuente:** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2004). Cadena agroindustrial de la soya; portada.

El grano de soya constituye uno de los productos de mayor consumo humano y es a la vez, propulsora de diversas actividades productivas tanto en la agricultura como en la industria.

La soya es considerada en la agricultura del mundo moderno como uno de los cultivos más rentables, debido a la importancia estratégica que tiene para los esquemas tecnológicos de producción de alimentos concentrados para la alimentación de aves y cerdos, dado su alto contenido proteico (alrededor de 40%). (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2004, p.6).

La semilla de soya propiamente dicho, constituye la materia prima para la industria de harina y aceites provenientes de la misma; además de servir como materia prima para la elaboración de leche y bebidas de soya. Además, el grano de soya posee hasta 20% de aceite de excelente calidad para el consumo humano; es también el único cultivo en la agricultura totalmente mecanizado que ofrece una alternativa viable para una producción racional y sostenida en el tiempo, basada en la rotación de cultivos, garantizando al productor un alto nivel de rentabilidad y la conservación y mejoramiento del suelo, un recurso natural caracterizado por ser renovable. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2004, p.6).

El grano o semilla de soja, recibe diversas denominaciones que varían según las regiones y los países, algunas denominaciones o nombres adoptados para dicha materia prima, son: Grano de soya, semilla de soya, poroto de soya, frejol o fríjol de soya, etc.

#### **2.2.1.1. Usos.**

La semilla de soya o simplemente soya, tiene una infinidad de usos como materia prima que van desde la producción de leche, aceites y harinas de forma artesanal y doméstico hasta la producción industrial. En cuanto al consumo humano se refiere, en lo doméstico destaca el consumo directo por parte de las personas y los animales, en lo artesanal destaca la producción de leche de soya, y, en el uso industrial de la soya destacan las industrias de harina, aceites, leche y bebidas en base a soya.

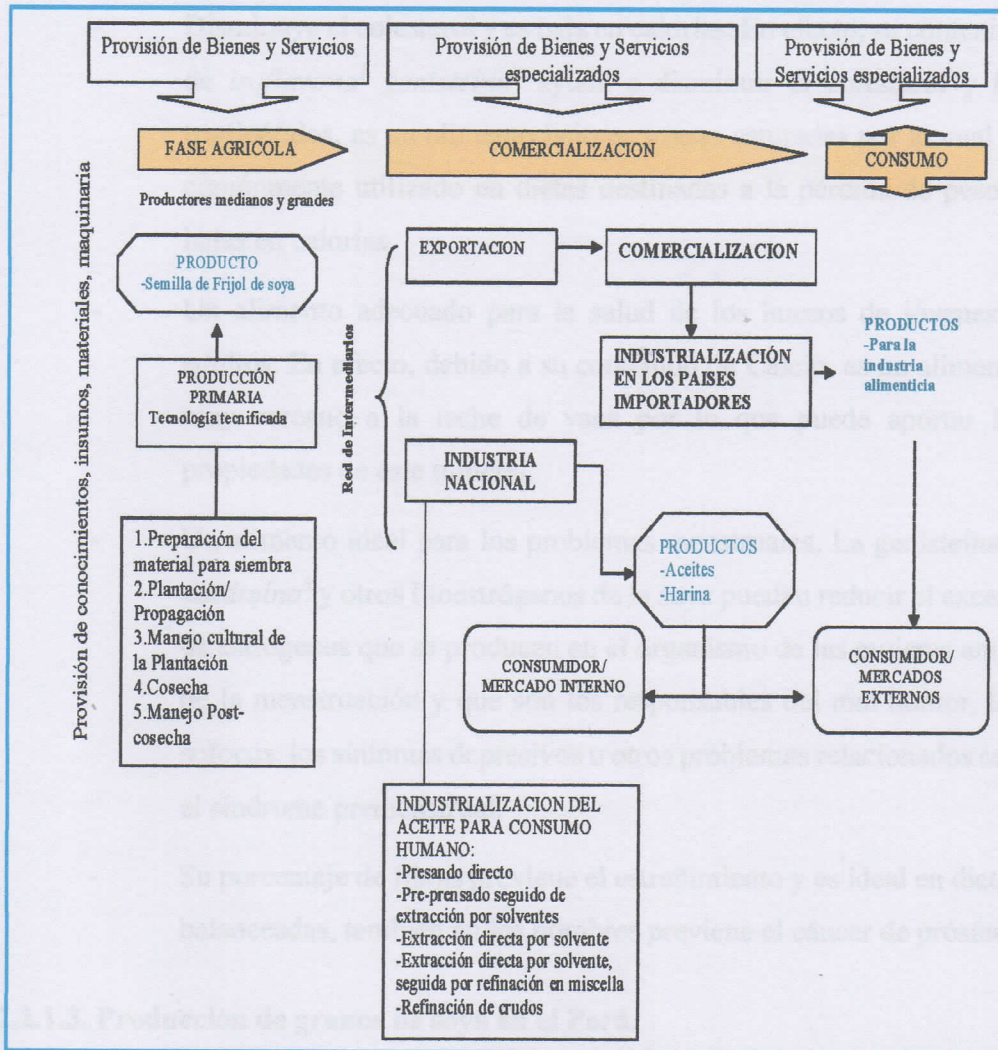
La soya como materia prima encadena dos sectores productivos bien definidos, el sector agrícola y el industrial; en razón de ello, es que el uso actual y más difundido del grano de soya como materia prima, es considerar a dicho grano o semilla como el inicio de la denominada cadena agroindustrial de la soya, ya que dichos granos se constituyen en la materia prima tanto de la cadena agrícola como de la industrial.

En la Figura que prosigue se esquematiza una visión generalizada de la cadena agroindustrial de la soya. En dicha figura se destaca las tres fases



importantes de la cadena agroindustrial de la soya, la fase agrícola, la fase de comercialización y la fase de consumo.

Figura 2.1. Visión genérica de la cadena agroindustrial de la soya.



Fuente: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2004). Cadena agroindustrial de la soya; p.13.

### 2.2.1.2. Beneficios.

Los beneficios del grano de soya se establecen en función a su consumo por parte de las personas y animales que por lo general forman parte del ganado, las granjas o los animales domésticos. Dado que la soya es una legumbre que supera en proteínas y aminoácidos al resto de alimentos de su misma clase, Hernández y

Mora (2009), destacan que al consumo de soya le ha sido asociado el suministro las propiedades alimentarias y medicinales a la salud humana que se señalan a continuación:

- Disminuye el colesterol y es baja en calorías. En efecto, su contenido de *isoflavona*<sup>1</sup> *genisteína*<sup>2</sup> ayuda a disminuir el colesterol y los triglicéridos, es un alimento bajo en grasas saturadas por lo cual es comúnmente utilizado en dietas destinadas a la pérdida de peso o bajas en calorías.
- Un alimento adecuado para la salud de los huesos de jóvenes y adultos. En efecto, debido a su contenido de Calcio, es un alimento muy cercano a la leche de vaca por lo que puede aportar las propiedades de este mineral.
- Un alimento ideal para los problemas menstruales. La genisteína y *daidzeína*<sup>3</sup> y otros fitoestrógenos de la soya pueden reducir el exceso de estrógenos que se producen en el organismo de las mujeres antes de la menstruación y que son los responsables del mal humor, los sofocos, los síntomas depresivos u otros problemas relacionados con el síndrome premenstrual.
- Su porcentaje de fibras previene el estreñimiento y es ideal en dietas balanceadas, también en los hombres previene el cáncer de próstata.

### 2.2.1.3. Producción de granos de soya en el Perú.

Según reporte del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014), la soya como producción agrícola alcanzo en el periodo 2007-2013 un máximo de 3 441 Toneladas Métricas (Año 2009); y, en el periodo 2003-2013, la mayor

<sup>1</sup> Las *isoflavonas* de la soya son un grupo de sustancias que poseen una estructura similar a los estrógenos humanos. Por eso actúan como tales sobre el organismo, proporcionando beneficios a la mujer en la menopausia. Además, actúan como antioxidante en el organismo.

<sup>2</sup> La *genisteína* es una *isoflavona* presente en alimentos como la soya, el kudzu, el lúpulo o el trébol rojo. La *genisteína* es la forma libre (*aglicona*) de la genistina (forma glicosilada).

<sup>3</sup> Daidzeina estructuralmente pertenece al grupo de las isoflavonas.

superficie cosechada de soya fue de 2 235 Hectáreas (Año 2006). Asimismo, de las 2 707 Toneladas Métricas (TM) producidas en el Perú, durante la temporada 2013, la contribución según departamento, fue como sigue:

**Cuadro 2.1.** Producción de soya según departamento, 2013.

Orden	Departamento	Producción (TM)
1	Piura	673
2	Amazonas	666
3	San Martín	432
4	Cajamarca	409
5	Cusco	141
6	Junín	124
7	Tumbes	90
8	Loreto	71
9	Ucayali	59
10	Puno	41
11	Ayacucho	1
<b>Total</b>		<b>2 707</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos de: INEI (2014). Compendio Estadístico Perú 2014; p.958.

Prosiguiendo con el análisis de datos reportados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014), es de destacar que la soya de consumo nacional es mayoritariamente de importación; en efecto, el consumo nacional de productos que conforman la canasta mínima alimentaria, 1998-2007, en su variante soya grano, registra un pico de 104 499 Toneladas Métricas (Año 2003).

De los datos presentados, se tiene que la soya producida en el país no abastece la demanda nacional, en efecto, mientras que el año 2013 se alcanzó producir 2 707 TM de grano de soya, la importación de dicho grano ascendió a 162 447 TM. Ya en el ámbito nacional, el departamento de San Martín ocupa el tercer lugar en la producción de granos de soya.

### 2.2.2. Planta de procesamiento de granos de Soya.

Se llama planta de procesamiento de granos de soya al lugar en el que se desarrollan operaciones generales y específicas con el fin de transformar, adecuar o tratar el grano de soya, es decir, son aquellas plantas industriales o artesanales que

utilizan como principal materia prima los granos de soya con la finalidad de obtener productos de mayor valor agregado tales como; aceites, harinas, leche, bebidas, tortas de soya, etc.

Desde una perspectiva técnica, una planta de procesamiento de granos de soya está constituido por el conjunto de elementos o sistema formado por máquinas, equipos y otras instalaciones dispuestas convenientemente en edificios o lugares adecuados, cuya función es transformar el grano de soya de acuerdo a un proceso básico preestablecido.

#### **2.2.2.1. Tipos de plantas.**

De acuerdo a la función de transformación que se hace del grano de soya, es decir, de acuerdo a un proceso básico preestablecido; los principales tipos de plantas procesadoras de granos de soya, pueden ser:

- Planta para obtención de aceite de soya.
- Planta para obtención de harina de soya.
- Planta para obtención de leche de soya.

De las plantas para la obtención de aceite de soya se obtiene un subproducto que constituye una de las fuentes de proteína más importante utilizada en la alimentación animal, la pasta o torta de soya. Asimismo, del proceso de elaboración de leche de soya, se obtiene la okara o pulpa de soya, subproducto que es utilizado en la alimentación humana y forma parte de la denominada cocina vegetariana.

#### **2.2.2.2. Plantas de procesamiento de granos de soya en el Perú.**

Las plantas de procesamiento de granos de soya en el Perú se limitan a la producción de harina integral de soya (consume de animales) y de aceite de soya (consumo humano), pero no se tiene conocimiento de una planta destinada a la producción de leche de soya.

En cuanto a harina integral de soya, utilizado para la alimentación de animales, al 2015 en el Perú se producía más de 18 000 TM mensuales de las cuales,

según Lira (2015), la empresa «CONTILATIN del Perú» producía el 80 por ciento de la producción peruana de harina integral de soya (15 000 toneladas mensuales) en sus plantas de Lurín y Trujillo. De lo acabado de señalar, se desprende que el Perú es consumidor de soya importada, ya que según lo señalado en el Cuadro 1, la producción nacional máxima obtenida fue de 2 7070 TM en la temporada 2013, luego la producción en cuestión no alcanza para cubrir la demanda de grano de soya en el Perú.

### **2.2.3. Leche de Soya.**

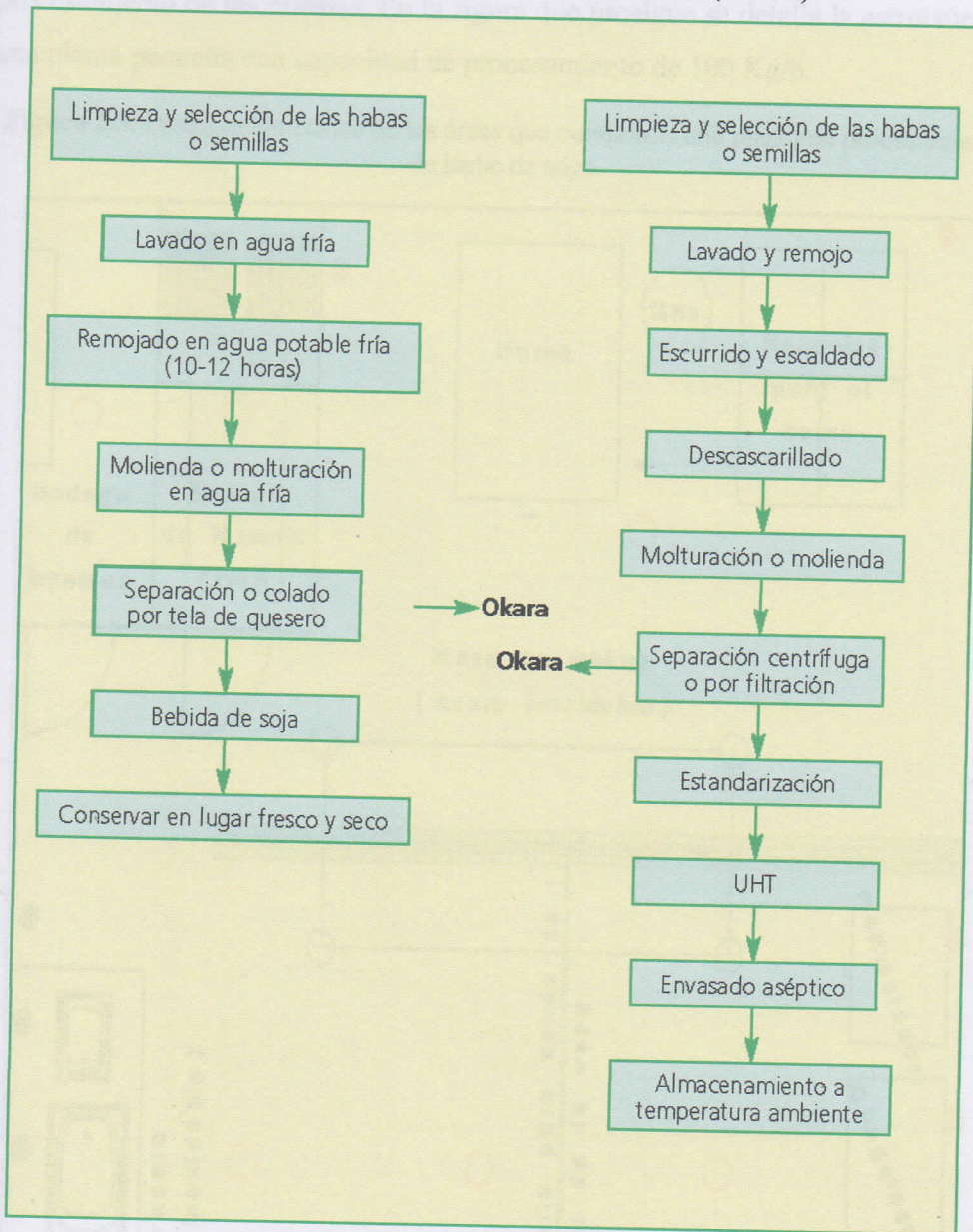
La leche de soya es un producto No Lácteo derivado del procesamiento específico de los granos de soya. La leche de soya se obtiene mediante un proceso que en forma general consiste en remojar, moler y filtrar el producto una vez refinado y cocido; en ese sentido, B. Saint (2000), define a la leche de soya como “la emulsión de color blanco que se parece a la leche de vaca, derivado de la cocción y procesamiento del frijol de soya entero u otros sólidos de calidad comestible de proteína de soya, en agua” (Rodríguez, 2006, p.20).

La leche de soja o soya, constituye una alternativa a la leche, y fácilmente reemplaza a dicha leche, en efecto, la bebida de soya, también llamada leche de soya “sustituye a la leche de vaca, aunque tiene menos calcio y nada de vitamina B12” (Pamplona, 2013, p.255).

#### **2.2.3.1. Métodos para la obtención de leche de soya.**

Para la obtención de leche de soya básicamente, la obtención de leche de soya puede realizarse de dos maneras: la primera forma de obtención casera que requiere un proceso de fabricación de la bebida de extracto de soya por el método llamado tradicional; y, la forma industrial, que sigue un proceso de fabricación más elaborado y sigue los lineamientos del denominado método continuo. En la figura que prosigue se esquematiza el flujo de procesos seguidos en la fabricación de bebida de extracto de soya por el método tradicional (Izquierda) y por un método continuo (derecha).

**Figura 2.2.** Diagramas de flujo de la fabricación de bebida de extracto de soja por el método tradicional (Izquierda) y por un método continuo (derecha).

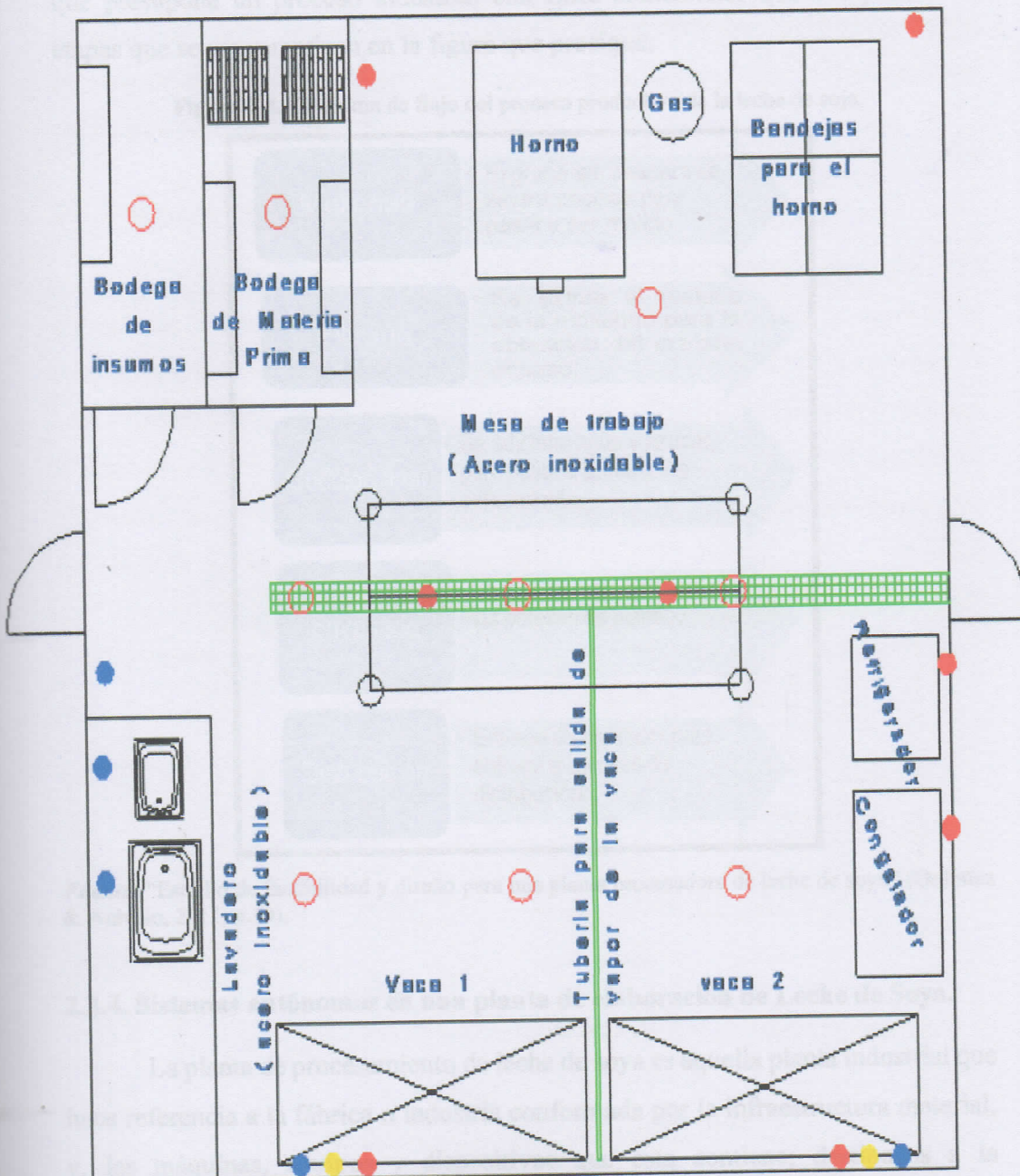


**Fuente:** Pastor & Perote (2007). La salud y la soja; p.38.

La obtención de leche de soja mediante el método continuo (producción industrial) se realiza en las denominadas «Plantas de Procesamiento de Granos de Soya», la capacidad de producción de dichas plantas se expresa en términos de los kilogramos por hora que es capaz de procesar, por ejemplo: 100 Kg/h, 200 Kg/h, 500 Kg/h, 2000 Kg/h, etc.

La configuración de las plantas de leche de soya responde a la capacidad de procesamiento de las mismas. En la figura que prosigue se detalla la estructura de una planta pequeña con capacidad de procesamiento de 100 Kg/h.

**Figura 2.3.** Distribución básica de las áreas que componen una planta de procesamiento de leche de soya.

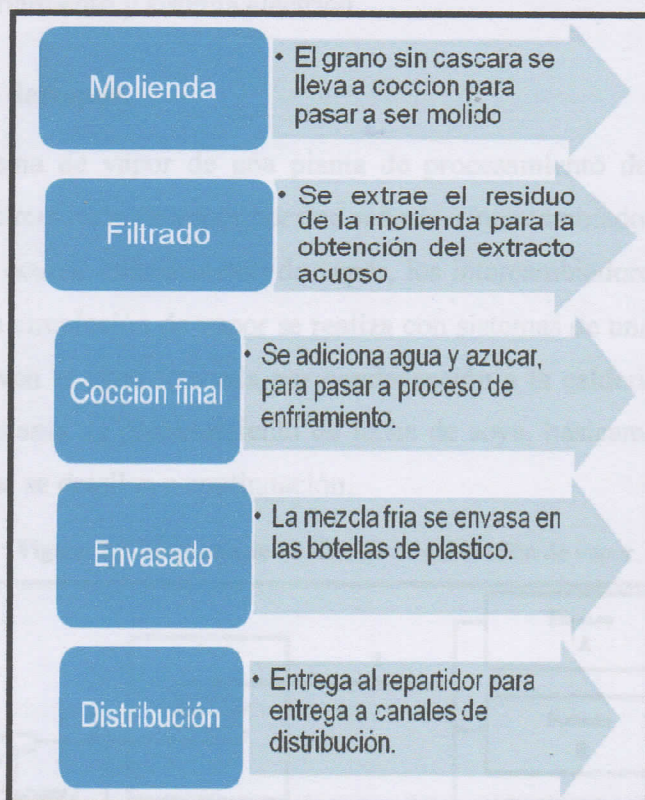


*Fuente:* "Implantación de Planta Comunitaria para la Producción de leche de soya en el sector de Las Malvinas de la ciudad de Guayaquil" (Aguilera, 2009, p.97).

### 2.2.3.2. Proceso productivo.

El proceso productivo de la leche de soya sigue unos patrones definidos según el destino final del producto. La producción industrial de la leche de soya mediante el denominado método continuo consiste en un proceso de fabricación que presupone un proceso industrial con fines comerciales que comprende las etapas que se esquematizan en la figura que prosigue.

Figura 2.4. Diagrama de flujo del proceso productivo de la leche de soya.



*Fuente:* "Estudio de factibilidad y diseño para una planta procesadora de leche de soya" (Ordoñez & Arévalo, 2012, p.19).

### 2.2.4. Sistemas autónomos en una planta de elaboración de Leche de Soya.

La planta de procesamiento de leche de soya es aquella planta industrial que hace referencia a la fábrica o industria conformada por la infraestructura material, y, las máquinas, equipos y dispositivos que esta contiene; destinadas a la producción de leche de soya. Una planta de leche de soya pertenece al grupo de industria de productos no lácteos.

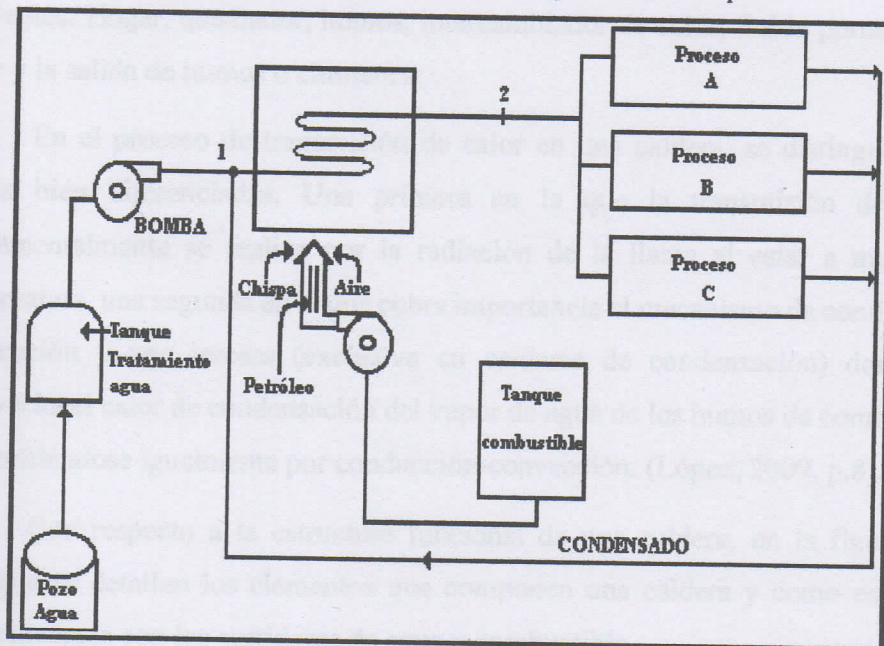


En forma general, una planta de procesamiento de leche de soya contendrá un sistema que podría evaluarse en forma autónoma y hasta asociarse a cada una de las etapas específicas del proceso de producción. Dichos sistemas constituyen las áreas de la planta en las cuales se distribuirá la misma de la manera más óptima desde la perspectiva funcional. Una planta estándar de procesamiento de leche de soya se estructura en base a las siguientes áreas o sistemas: sistema de vapor, sistema de agua potable, sistema de agua tratada, sistema de aire comprimido, sistema de enfriamiento y sistema eléctrico.

### 2.2.5. Sistema de vapor.

El sistema de vapor de una planta de procesamiento de leche de soya comprende la circulación de vapor por una cañería e intercambiador de vapor de tal manera que al ocurrir condensación de vapor, los intercambiadores transmiten su calor oculto; la circulación de vapor se realiza con sistemas de una y dos tuberías, y estas devuelven el agua formada por condensación a la caldera. El sistema de vapor de una planta de procesamiento de leche de soya, básicamente integra los subsistemas que se detallan a continuación.

Figura 2.5. Esquema de un sistema de generación de vapor.



Fuente: Morales (2012). Apuntes del Curso Ingeniería de Servicios; p.2.

### 2.2.5.1. Subsistema calderas.

Se define a la caldera como “el equipo en el que el calor producido en la combustión se transfiere al agua de la instalación” (López, 2009, p.7). La caldera como subsistema del sistema de vapor constituye el eje sobre el cual dicho sistema sustenta su accionar, constituyéndose en el elemento principal de dicho sistema. En un contexto circunscrito al sistema de vapor, se define la caldera como un:

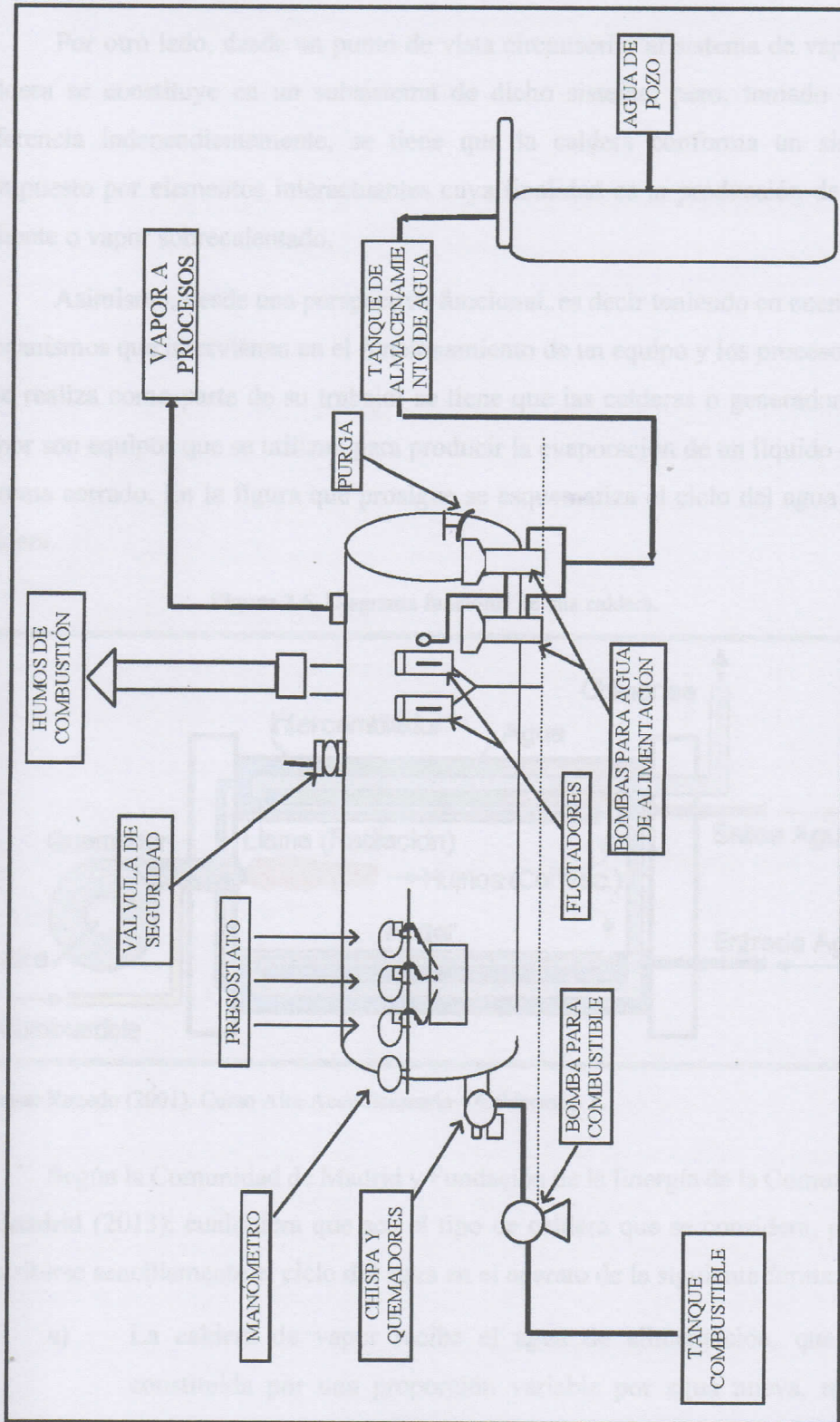
Recipiente cerrado en el que se calienta agua, se genera vapor, se sobrecalienta el vapor, o bien una combinación de todo ello, bajo presión o vacío por la aplicación del calor de los combustibles, electricidad o energía nuclear. El término no incluye aquellas instalaciones o partes de una unidad de un proceso continuo pero incluye los quemadores o calentadores o líquidos vaporizadores, además del agua donde estas unidades están separadas de los sistemas del proceso y están completas en su conjunto. (Kohan, 2000, p.687).

Con respecto a los elementos generales que componen, interactúan y conforman las partes de una caldera, Renedo (2001), señala que estos son los siguientes: Hogar, quemador, humos, intercambiador de calor, fluido portador del calor y la salida de humos o chimenea.

En el proceso de transmisión de calor en una caldera, se distinguen tres partes bien diferenciadas. Una primera en la que la transmisión de calor fundamentalmente se realiza por la radiación de la llama al estar a muy alta temperatura, una segunda en la que cobra importancia el mecanismo de conducción convección y una tercera (exclusiva en calderas de condensación) donde se aprovecha el calor de condensación del vapor de agua de los humos de combustión transmitiéndose igualmente por conducción-convección. (López, 2009, p.8).

Con respecto a la estructura funcional de una caldera, en la figura que prosigue se detallan los elementos que componen una caldera y como esta está interconectada con los surtidores de agua y combustible.

Figura 2.6. Esquema de una caldera.

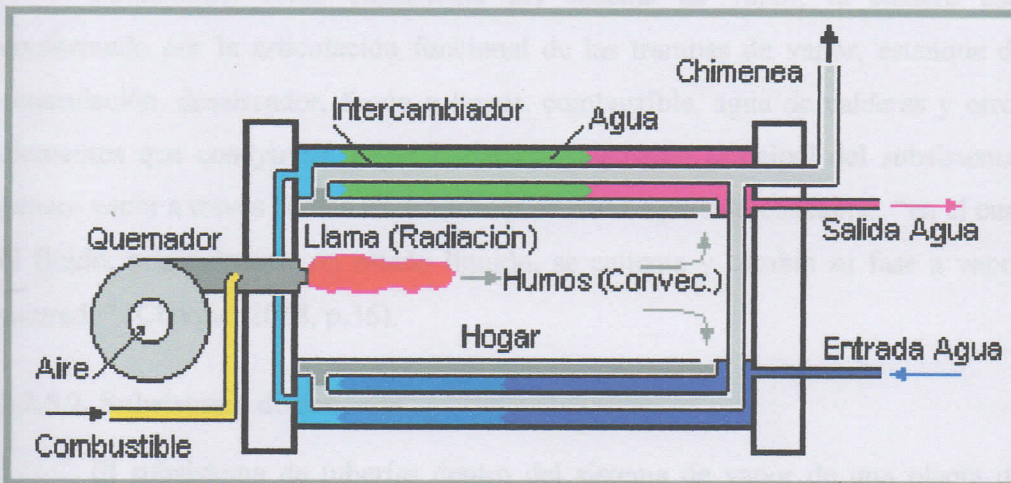


Fuente: Morales (2012). Apuntes del Curso Ingeniería de Servicios; p.3.

Por otro lado, desde un punto de vista circunscrito al sistema de vapor, la caldera se constituye en un subsistema de dicho sistema; pero, tomado como referencia independientemente, se tiene que la caldera conforma un sistema compuesto por elementos interactuantes cuya finalidad es la producción de agua caliente o vapor sobrecalentado.

Asimismo, desde una perspectiva funcional, es decir teniendo en cuenta los mecanismos que intervienen en el funcionamiento de un equipo y los procesos que este realiza como parte de su trabajo; se tiene que las calderas o generadores de vapor son equipos que se utilizan para producir la evaporación de un líquido en un sistema cerrado. En la figura que prosigue se esquematiza el ciclo del agua en la caldera.

Figura 2.6. Diagrama funcional de una caldera.



Fuente: Renedo (2001). Curso Aire Acondicionado – Calderas; p.3.

Según la Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2013), cualquiera que sea el tipo de caldera que se considera, puede describirse sencillamente el ciclo del agua en el aparato de la siguiente forma:

- a) La caldera de vapor recibe el agua de alimentación, que está constituida por una proporción variable por agua nueva, más o menos tratada, llamada agua de aportación, y de agua de retorno que vuelve de la instalación a partir de los condensados del vapor.

- b) En el interior del aparato el agua de alimentación se convierte en vapor, el cual podría considerarse constituido por moléculas de agua pura.
- c) El agua que se mantiene líquida en el interior de la caldera se carga de todas las sustancias y elementos que contenía el agua vaporizada, salvo las que han sido arrastradas en el vapor por mecanismos que se explicarán más adelante.
- d) Si no se efectúa una desconcentración sistemática, denominada purga o extracción, las impurezas se irán concentrando, cada vez más, en la fase líquida, por lo que será necesario verter al desagüe una parte del agua de la caldera.

Finalmente, como subsistema del sistema de vapor, la caldera está conformado por la articulación funcional de las trampas de vapor, estanque de acumulación, desaireador, fogón u hogar, combustible, agua de calderas y otros elementos que coadyuvan a que la caldera (elemento principal del subsistema) genere vapor a través de una transferencia de calor a presión constante, “en el cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado” (Choque, 2018, p.36).

#### **2.2.5.2. Subsistema de tuberías.**

El subsistema de tuberías dentro del sistema de vapor de una planta de procesamiento de leche de soya, se encarga de llevar el agua a la caldera, desfogar agua o vapor residual de la caldera, realizar procesos de recirculación de vapor y/o agua, expulsar humos, y, derivar el vapor generado hacia los puntos donde se requiera dicho elemento bien para realizar algún trabajo o cambiar de fase para su recuperación de estado inicial. Los dispositivos que conforman el subsistema de tuberías del sistema de vapor de una planta de procesamiento de leche de soya son los tubos, los codos (90°, 45°), los desviadores (T, Y), etc.

El subsistema de tuberías cumple una función conectora entre los subsistemas del sistema de vapor; en efecto, mediante las tuberías se alimenta a la

caldera con agua y combustible, además, mediante tuberías se deriva el vapor a los procesos que lo requieran y se dirige el humo fuera de la caldera.

Es de destacar que las tuberías como subsistema del sistema de vapor, se refiere a aquellas tuberías que ingresan o salen de la caldera; es decir, tiene que ver con aquellas tuberías que se conectan directamente con la caldera, mas no con las tuberías que conectan los sistemas autónomos de la planta de procesamiento de leche de soya; por ejemplo, la tubería de agua tratada que van a las marmitas para la cocción del grano de soya, no es parte del subsistema tuberías.

### **2.2.5.3. Subsistema de válvulas.**

El subsistema de válvulas como parte del sistema de vapor de una planta de procesamiento de leche de soya modifica el flujo de vapor o agua de acuerdo a los requerimientos del sistema; en ese sentido, este subsistema protege la tubería y las bombas de la sobre presurización, ayudando a prevenir flujos contrarios en las bombas y remover aire en estas. Los dispositivos que conforman el subsistema de válvulas del sistema de vapor de una planta de procesamiento de leche de soya son los diferentes tipos de válvulas entre las cuales destacan las de retención, las de alimentación y las de seguridad, válvulas reguladoras de presión, válvulas moduladoras de caudal, trampas de vapor, etc.

Por lo general las válvulas son considerados accesorios o elementos complementarios de la caldera, en efecto: “El termino accesorio de caldera se aplica a válvulas, manómetros y demás conexiones u dispositivos que están conectados directamente a la caldera de forma que la unidad o unidades pueden operarse segura y eficientemente” (Kohan, 2000, p.351). A pesar que las válvulas son consideradas como accesorios, en la presente investigación se le dio el trato de subsistema.

Asimismo, al igual que para el caso del subsistema tuberías del sistema de vapor, las válvulas como subsistema del sistema de vapor, tienen que ver con aquellas que permiten u obstruyen el paso hacia o desde la caldera, mas no con las válvulas que regulan el flujo o presión de los otros sistemas autónomos de la planta de procesamiento de leche de soya.

#### 2.2.5.4. Elementos complementarios.

Los elementos complementarios del sistema de vapor lo constituyen aquellos elementos de la planta que en forma directa o indirecta están relacionados con el sistema de vapor ya que constituyen elementos coadyuvantes de un mismo proceso.

Uno de los elementos complementarios del sistema de vapor lo constituye el distribuidor. Al utilizar el bloque distribuidor como un manifold de distribución del vapor, se logra dirigir el vapor a los procesos unitarios que lo requieran, por ejemplo, molienda, cocción, etc.

Otro de los elementos complementarios al sistema de vapor es el tanque de condensados, tanque desde el cual se alimentará con agua a la caldera para que esta pueda generar el vapor de agua deseado.

Las bombas constituyen otro de los elementos complementarios al sistema de vapor. Dichas bombas son utilizadas para llevar el agua hacia la caldera o hacia el tanque de condensados.

Asimismo, otro elemento complementario que actúa indirectamente con el sistema de vapor, es el ablandador de agua. Este elemento “tiene por objeto la eliminación de toda la dureza del agua sustituyendo las sales de calcio y magnesio por sales de sodio no incrustantes” (Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013, p.58).

#### 2.3. Definición de términos.

En lo que prosigue, se presenta la definición de términos que enriquecieron un poco más lo presentado en las bases teóricas, ya que constituyen una conceptualización específica de términos abordados dentro de la investigación y que complementan a las mismas, mediante una acepción propia. Con respecto a los tipos de calderas y sus características, Kohan (2000) destaca las siguientes:

**Caldera «puercoespín»:** Una caldera que consta de una virola vertical de la que se proyectan un número de tubos cerrados por un extremo.

**Caldera calentada interiormente:** Caldera piro tubular que tiene un hogar interior como la escocesa marina, hogar de locomotora, tubular vertical u otro tipo que tenga un hogar plano refrigerado por agua.

**Caldera de agua caliente para calefacción:** Es una caldera en la que no se genera vapor y en la cual se circula agua caliente con propósitos de calefacción y a la cual retorna el agua a una temperatura inferior a la de salida o impulsión.

**Caldera de alta presión de vapor o vapor de agua:** Es una caldera en la que se genera el vapor a una presión superior a 15 psig (1,05 kg/cm<sup>2</sup>).

**Caldera de baja presión de vapor o vapor de agua:** Es una caldera en la que se genera vapor a presión que no excede de 15 psig (1,05 kg/cm<sup>2</sup>).

**Caldera de circulación forzada:** Unidad generadora de vapor normalmente operando por encima de la presión crítica, en la que no hay recirculación del fluido de trabajo en ninguna parte de la unidad.

**Caldera de encendido automático:** Caldera que funciona según ciclos automáticos en respuesta a un sistema de control.

**Caldera de suministro de agua caliente (sanitaria ACS):** Es una caldera que funciona como calentadora del agua caliente sanitaria.

**Caldera de tubos de agua:** Una caldera en la que el agua u otro fluido fluye a través de los tubos y los gases de combustión son exteriores a los tubos.

**Caldera eléctrica:** Caldera que convierte la energía eléctrica en energía térmica.

**Caldera miniatura:** Caldera cuyas dimensiones y presión de trabajo no excedan de los siguientes límites: diámetro, 16" (406 mm); presión de trabajo, 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>); volumen bruto, 5 f<sup>3</sup> (135 litros); y superficie de calefacción, 20 f<sup>2</sup> (1,8 m<sup>2</sup>).

**Calderín:** Virola cilíndrica cerrada por sus dos extremos y diseñado para soportar la presión interior.



**Calderín de vapor y agua:** Cámara presurizada situada en el extremo superior del sistema circulatorio de la caldera, en la que el vapor generado en la caldera está separado del agua y desde la cual el vapor se descarga a cualquier punto inferior de la superficie de nivel que se mantiene en el citado calderín.

**Calderín inferior o de lodos:** Cámara de presión o calderín localizado en la extremidad inferior de una bancada de tubos de agua de convección y que normalmente está provisto de una válvula de purga para relimpiado o purga periódica del sedimento recogido en la parte inferior del calderín.

Con respecto a los tipos de tubos, Kohan (2000), destaca los siguientes:

**Tubería seca:** Un tubo perforado o acanalado en forma de caja, que está dentro del calderín y conectado a la salida del vapor.

**Tubo aleteado:** Tubo con una o más aletas.

**Tubo bourdon:** Tubo metálico, hueco, curvado en forma semicircular, que constituye el medio actuador de un manómetro.

**Tubo de agua:** Un tubo de caldera a través del cual fluye el fluido bajo presión. Los productos de combustión rodean al tubo.

**Tubo de circulación:** Tubo de caldera usado para conectar los espacios de agua de dos calderines o de partes a presión de una caldera.

**Tubo de humos:** Tubo de una caldera que tiene agua por su exterior y que transporta los productos de la combustión por el interior.

**Tubo ecualizador:** Un tubo de caldera usado para conectar los espacios de vapor de dos calderines de vapor o partes de presión de una caldera.

**Tubo generador:** Tubo de calderas usado para evaporar agua.

**Tubo montante:** El tubo a través del cual el vapor y agua pasan de un muro de tubos de agua superior a un calderín.

Finalmente, es de tener en cuenta los tipos de válvulas que están presentes en un sistema de vapor, al respecto Kohan (2000), destaca los siguientes:

**Válvula de antirretorno:** Es una válvula diseñada para evitar el flujo en sentido inverso. Solo permite el flujo en una dirección.

**Válvula de compuerta:** Una válvula de corte que utiliza el principio del doble asiento. Puede ser usada para controlar el fluido conteniendo algo de sólidos, ya que cuando está abierta total mente opera con una corriente recta. Tienen una pequeña tendencia a obstruirse.

**Válvula de corte de seguridad:** Válvula cerrada automáticamente por el sistema de control o por un dispositivo de emergencias para cortar completamente el suministro de combustible al quemador.

**Válvula de globo:** Válvula de corte que usa el principio del disco y asiento, utilizada donde el fluido controlado es comparativamente limpio.

**Válvula de seguridad:** Válvula que se abre automáticamente cuando la presión alcanza el vapor de ajuste de la válvula; utilizada para evitar que la presión excesiva haga estallar la caldera.

**Válvula de seguridad actuada eléctrica o neumáticamente:** Válvula de seguridad o escape actuada por una Fuente auxiliar de energía, normalmente eléctrica o neumática; ajustada para actuar ligeramente por debajo de la válvula de presión cargada a resorte.

**Válvula de seguridad de corte y reposicionamiento manual:** Válvula de seguridad de corte, que se opera manual mente y se cierra eléctricamente, diseñada para cortar automáticamente el flujo de combustible cuando se desenergiza.

**Válvula de venteo (quemador de gas):** Válvula normalmente abierta y cerrada eléctricamente, colocada entre las dos válvulas de seguridad venteando a una zona segura.

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Definición de las Variables.

Las variables objeto de análisis de la presente investigación fueron las siguientes:

**Variable independiente:** «Línea base para la Propuesta».

**Variable dependiente:** «Diseño del sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h».

#### 3.2. Operacionalización de Variables.

Como resultado de operacionalizar las variables objeto de análisis que se relacionan en la hipótesis formulada, se extrajeron los indicadores o descriptores de las variables que prosiguen.

**Indicadores de la Variable independiente:**

- Ubicación de la Planta.
- Mercado Objetivo.
- Consideraciones para el Diseño del Sistema de Vapor.
- Esquema General de la Propuesta.

**Indicadores de la Variable dependiente:**

- Diseño de las calderas.
- Diseño de las tuberías de vapor.
- Selección de las válvulas.
- Selección de los accesorios complementarios.

#### 3.3. Hipótesis.

##### 3.3.1. Hipótesis general.

El diseño de un sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h contribuirá a la implementación de una planta procesadora para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba.

### 3.3.2. Hipótesis específicas. IV. METODOLOGÍA

- a) Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de calderas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.
- b) Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de tuberías del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.
- c) Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de válvulas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.
- d) Es factible prever los elementos complementarios del sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo de Investigación.

La presente investigación es del tipo explicativa, ya que busca proponer un diseño del sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h de capacidad.

### 4.2. Diseño de la Investigación.

El diseño apropiado para la presente investigación es el pre experimento, esto debido a que se tendrá un grado de control mínimo sobre las variables, y no habrá necesidad de manipular la variable independiente; en ese sentido, la presente investigación se trata de un estudio de caso con una sola medición. (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

### 4.3. Población y Muestra.

*Población:* La población de la presente investigación lo conformaron la totalidad de propuestas de implementación de plantas procesadoras de granos de soya con fines de producir leche en el Perú.

*Muestra:* La muestra referencial para la presente investigación, se tomó de forma no probabilística e intencionada, en ese sentido, la muestra estuvo constituida por la propuesta de implementar una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h de capacidad para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba.

### 4.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Como técnica se utilizó el diseño propiamente dicho del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h de capacidad para la obtención de leche de soya. La capacidad de procesamiento de granos de la planta estuvo basado en la cantidad de grano de soya producido en el departamento de San Martín y en los departamentos aledaños al mismo, el detalle de dicha producción se presenta más adelante (En capítulo V, ver: «5.1. Línea Base para la Propuesta»).

Los instrumentos de recolección de datos utilizados fueron la ficha para el análisis documentario de los reportes de soya producido en el Perú departamento por departamento, y, la ficha para el análisis de contenido que sirvió para registrar las especificaciones técnicas para el diseño de un sistema de vapor en función de su capacidad de procesamiento de granos de soya.

#### **4.5. Procedimientos de Recolección de Datos.**

La recolección de datos se realizó mediante la aplicación de los instrumentos, actividad que se realizó teniendo en cuenta a las dos variables consideradas (Variables "X" e "Y") y sus respectivos indicadores; para tal efecto se tuvo en cuenta que dicho procedimiento "consiste en ordenar los datos de acuerdo a los indicadores de cada variable y en relación a los objetivos de la investigación y a la hipótesis de trabajo" (Torres, 2005, p.205).

#### **4.6. Procesamiento Estadístico y Análisis de Datos.**

El procesamiento de la información basado en los resultados de aplicar los instrumentos de recolección de datos (Fichas de análisis documental y análisis de contenido), permitió establecer las líneas base de la propuesta, para tal efecto se tuvo en cuenta relacionar los resultados de recolectar la información con la propuesta de implementar una planta procesadora de granos de soya.

El análisis de la información ya procesada, se realizó teniendo en cuenta que este constituye un "proceso a través del cual ordenamos, clasificamos y presentamos los resultados de la investigación en cuadros estadísticos, en gráficas elaboradas y sistematizadas a base de técnicas estadísticas con el propósito de hacerlos comprensibles" (Torres, 2002, p.279). En ese contexto, y para propósitos de la presente investigación, el análisis de datos estuvo orientado al diseño del principal sistema de una planta de procesamiento de granos de soya para la obtención de leche, el sistema de vapor. Luego, el diseño del sistema de vapor sentará las bases para el posterior diseño integral de la futura planta de procesamiento de leche de soya, en cuyo diseño si se deberá tener en cuenta todos los sistemas que conforman la planta, siendo el sistema de vapor, una de ellos.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Consideraciones Preliminares.

En lo que prosigue se presenta algunas consideraciones que se tuvieron en cuenta para orientar la presente investigación, y que sirvieron como guía para la ejecución de la misma.

Los servicios industriales en una planta de procesamiento de leche de soya lo conforman los sistemas, con sus respectivos subsistemas, que hacen posible no solo la puesta en funcionamiento de la misma, sino también la producción de la misma.

Los sistemas, con sus respectivos subsistemas, en una planta de procesamiento de leche de soya, son los siguientes: Sistema de vapor (Subsistema calderas, subsistema de tuberías, subsistema de válvulas, etc.); sistema de agua potable (Subsistema del tanque, subsistema de tuberías, subsistema de válvulas, subsistema de bombas, etc.); sistema de agua tratada (Subsistema de filtros, subsistema de tuberías, subsistema de válvulas, subsistema de bombas, etc.); sistema de aire comprimido (Subsistema de compresor, subsistema de tuberías, subsistema de válvulas, etc.); sistema de enfriamiento, (Subsistema de refrigeración por amoníaco, subsistema de agua helada, subsistema de tuberías, subsistema de válvulas, subsistema de bombas, etc.); y, sistema eléctrico (Subsistema de máquinas eléctricas, subsistema de equipos eléctricos, subsistema de iluminación, etc.).

Tal como lo señala el título de la tesis, "Diseño del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 kg/h para la obtención de leche en la ciudad de Moyobamba", la investigación se circunscribió al sistema de vapor de la propuesta.

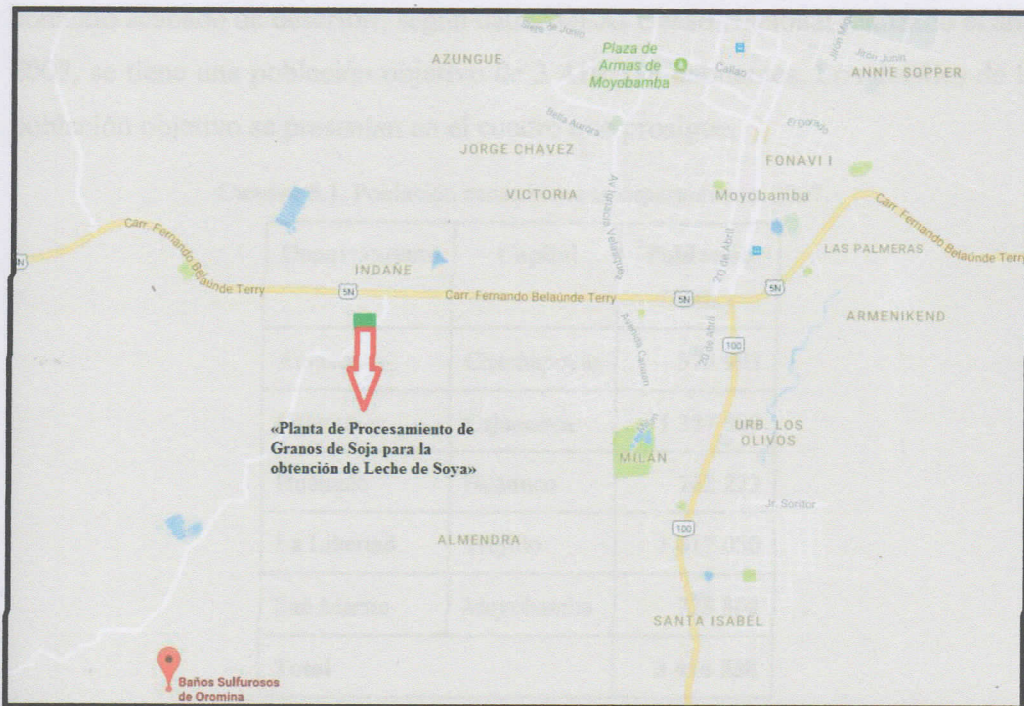
A fin de evitar confusiones en las dimensiones de las unidades, es importante resaltar que la relación entre cantidad de soya procesada por unidad de tiempo o capacidad de la planta se puede expresar en kg/h y el consumo de vapor unitario también puede ser expresado en kg/h (Kilogramo de vapor por hora).

## 5.2. Línea base para la propuesta.

### 5.2.1. Ubicación de la planta.

La planta y oficinas de la empresa estarán ubicadas en la ciudad de Moyobamba. La propuesta considera como posible ubicación a la zona industrial de Moyobamba, en el sector «Perla de Indañe», entrada a los baños sulfurosos de Oromina, a 100 metros de la carretera Fernando Belaunde Terry. El terreno actual es un lote baldío de 16 000 m<sup>2</sup> 80x200 metros de fondo. De dicho lote se planea adquirir para la planta de procesamiento de leche de soya, un área de 2000 m<sup>2</sup> con dimensiones 40x50 metros.

Figura 5.1. Propuesta de ubicación para la «Planta Procesadora de Leche de Soya».



Fuente: Adaptado de: Google Map Data (2018) [En línea].

Por tratarse de una propuesta general de planta de procesamiento de leche de soya y en forma específica tener como limitante al sistema de vapor de dicha planta, los aspectos relacionados con la distribución de áreas, ubicación de equipos y accesos a la planta no fueron relevantes para propósitos de la presente investigación; asimismo, el análisis funcional de la planta en términos de



condiciones de funcionamiento, condiciones de parada y el diagrama de operación y funciones; tampoco resultaron siendo relevantes. En razón de lo acabado de señalar es que solamente nos limitamos a especificar el lugar donde se implementaría la propuesta mas no se ahondó en las cuestiones antes mencionadas.

### 5.2.2. Mercado objetivo.

El mercado objetivo inicial estará conformado por el departamento de San Martín cuya capital es la ciudad de Moyobamba y los departamentos contiguos cuyas capitales tienen conexión vía terrestre con el departamento de San Martín, vale decir, aquellos departamentos limítrofes del departamento en mención cuyas capitales pueden ser accesadas vía terrestre desde la ciudad de Moyobamba. En el contexto acabado de describir, según datos del XI Censo Nacional realizado el año 2007, se tiene una población objetivo de 3 416 538 habitantes. Los detalles de la población objetivo se presentan en el cuadro que prosigue.

**Cuadro 5.1.** Población censada según departamento, 2007.

Departamento	Capital	Población (Hab.)
Amazonas	Chachapoyas	375 993
Cajamarca	Cajamarca	1 387 809
Huánuco	Huánuco	762 223
La Libertad	Trujillo	1 617 050
San Martín	Moyobamba	728 808
<b>Total</b>		<b>3 416 538</b>

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística e Informática (2008). Perfil sociodemográfico del Perú; p.24.

Con respecto al consumo de leche en el Perú, datos publicados como resultados de haber aplicado la denominada Encuesta Nacional de Presupuestos Familiares (ENAPREF), dan cuenta con respecto a dicho consumo, que: “un peruano consume en promedio al año 10 litros 500 mililitros de leche” (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012, p.9).

*De las consideraciones asumidas para el diseño del sistema de vapor (Infra), se tiene que la planta procesadora de granos de soja para la obtención de leche, producirá al año alrededor de 7 150 000 litros de leche de soja. Teniendo en cuenta el dato de producción y la población objetivo, se tiene que el consumo per cápita aproximado sería de 2,1 litros por persona; luego, la propuesta busca cubrir el 20% de la costumbre de consumo de lácteos en la población objetivo.*

### **5.2.3. Proceso de obtención de leche de soja.**

Un proceso se concibe como un conjunto de actividades planificadas que implican la participación de un número de personas y de recursos materiales coordinados para conseguir un objetivo previamente establecido. En concordancia con lo acabado de señalar, para el caso de la «Planta Procesadora de Granos de Soja para la obtención de Leche de Soja en la ciudad de Moyobamba», se previó el desarrollo de las siguientes actividades:

**Actividad 1:** Definimos como actividad 1, la etapa que tiene que ver con la limpieza de los granos. La etapa de limpieza consiste en eliminar los restos extraños que acompañan a los granos, como pajas, tierra, restos metálicos de las máquinas cosechadoras, etc. Para la limpieza de los granos de soja se usan tamices para separar las impurezas y materiales extraños del grano en el proceso. Se suelen usar tamices de abertura de 2.38 mm que equivale a la Malla No. 8 y 1.41 mm que equivale a la Malla 12.

**Actividad 2:** Se consideró como actividad 2, el lavado y remojo del grano en agua. El lavado es la etapa inmediata a la limpieza y consiste en liberar las semillas de tierra, polvo, restos de insectos y cualquier otro tipo de suciedad que pudiera contaminarlas. Una vez eliminado el agua de lavado, los granos de soja limpios se remojan de 8 a 10 horas en agua potable, procurando renovar el agua frecuentemente; al principio cada 10-15 minutos y después distanciando más los tiempos para el cambio del agua. Tanto el lavado como el remojo de los granos de soja se realizan a temperatura ambiente y con agua potable. Con respecto a la actividad de remojo y lavado de las semillas de soja, Akinin (2012) señala que en

dicha actividad, además de variar la temperatura del agua de remojo, se consideran tiempos de retención, y también la adición de Bicarbonatos u otros productos químicos.

**Actividad 3:** Se consideró como actividad 3, el descascarillado de los granos de soja. El descascarillado consiste en eliminar la piel o cáscara que protege a los cotiledones del grano de soja. Con respecto a esta actividad, Akinin (2012) señala que en esta actividad, en algunos casos, se requiere pre-tratamiento mecánico para la remoción de la cáscara.

**Actividad 4:** Se consideró como actividad 4, la cocción y molienda. La cocción o escaldado es una operación a la que se someten o sufren los granos de soja o soja realizada a continuación del remojo, para tal efecto se requiere una temperatura de 85°C o más, estas temperaturas ayuda a la desaparición del sabor a legumbre cruda. Dicha operación requerirá que la semilla de soja se escale entre unos 10-15 minutos. Por lo general, la etapa de cocción y molienda considera dos procesos bien definidos dentro del triturador que dura alrededor de 30 minutos. El agua y la soja remojada ingresan al triturador donde permanecen a una temperatura entre 80 a 90°C por 15 minutos con la finalidad de eliminar los factores anti fisiológicos de la soja, al pasar los 15 minutos comienza el proceso de molienda el cual dura 15 minutos a una temperatura de 90°C. Con respecto a esta actividad, se tiene que:

Una vez ablandado el grano, éste es sometido a trituración-molienda para la liberación de las proteínas entrampadas en la malla celular fibrosa del grano y quedan flotando en una lechada inicial las fibras, algunos carbohidratos, proteínas, aceites, minerales y vitaminas. En esta parte junto con la adición de agua caliente y/o vapor de agua se produce la infusión emulsión que apropiadamente puede recibir el nombre de "leche". (Akinin, 2012).

**Actividad 5:** Se consideró como actividad 5, la filtración o separación de sólidos de los líquidos y viceversa. Con respecto a la filtración se tiene que este procedimiento constituye aquella etapa de separación de partículas sólidas de un

líquido utilizando un material poroso llamado filtro o elemento filtrador. En ese sentido, se tiene que:

La lechada a continuación se somete a un proceso de separación de fibras y/o filtración en el cual se clarifica el líquido y se obtiene la Okara que es la borra residual de los granos de soya. La Okara es rica en fibras y aunque en menor proporción que el grano todavía contiene una cantidad marginal pero significativa de grasas y proteínas y puede ser utilizada en alimentación humana o animal. En esta parte según la tecnología aplicada el líquido alto en proteína se puede reciclar parcialmente para la dilución de la maceración original de manera de aumentar los sólidos y proteínas totales. (Akinin, 2012).

**Actividad 6:** Se consideró como actividad 6, la desodorización o desactivación enzimática. En esta etapa, la Leche de Soya ya clarificada se somete en algunos procesos en mayor o menor grado con distintas técnicas a una desodorización por vacío flash o súbito, para eliminarle aromas y sabores desagradables. La Leche de Soya contiene dos enzimas que es necesario desactivar, la Lipoxigenasa que corta por hidrólisis los aceites (triglicéridos) en ambiente acuoso y caliente, produciendo ácidos grasos libres que se oxidan en ésteres, cetonas y aldehídos, produciendo sabores y olores desagradables; y Las Inhibidoras de Tripsina, peptidasas encontradas en la soya llamadas proteasas o enzimas que rompen los enlaces peptídicos de las proteínas, que obstaculizan y entorpecen la digestión de las proteínas. Con respecto a esta actividad, se tiene que:

El líquido se somete a calentamiento hasta la temperatura de diseño requerida y se deja en retención por el tiempo específico necesario y con estos shocks térmicos se realiza la desactivación enzimática de estos elementos indeseados. (Akinin, 2012).

**Actividad 7:** Se consideró como actividad 7, la homogenización. La homogenización es una de las fases más importantes y críticas para la obtención de la calidad deseada de la leche de soya, en ese sentido esta etapa del proceso

productivo requiere la convergencia de dos procedimientos: la normalización o estandarización y el tratamiento térmico. Con respecto a esta actividad, es de destacar que:

La estandarización y/u homogenización se realiza para regular la estabilidad en emulsión de la grasa contenida e impartirle mayor duración y estabilidad física a la leche. El producto obtenido es una base cuya concentración se ajusta en sistemas de formulación para dar el toque final de sabor, dilución y contenido de nutrientes necesarios para obtener el producto especificado. Los equipos, procesos, tecnologías y parámetros utilizados para lograr todas o algunas de las operaciones descritas determinan la calidad de la Leche de Soya su agradable sabor y su durabilidad y estabilidad. Los procesos que usan menos agua, menos calor y en los cuales hay menos presencia de aire garantizan los mejores resultados. (Akinin, 2012).

**Actividad 8:** Se consideró como actividad 8, el envasado. La actividad de envasado de la leche de soya se realiza con fines de conservar el producto previamente homogenizado, para tal efecto se suele poner el producto en tarros, latas o bolsas herméticas y asegurarlo mediante el sellado del contenedor. El método seguro de envasar para la leche de soya es bajo condiciones de presión y temperatura altas.

**Actividad 9:** Se consideró como actividad 9, el almacenamiento. Las condiciones de almacenamiento de la leche de soya ya envasada, responderán a la demanda que se hace del producto puesto en stock y de la frecuencia con la que se da la demanda del producto al almacén.

En el proceso de obtención de leche de soya realizado en la «Planta Procesadora de Granos de Soja» cuyo sistema de vapor fue objeto de estudio de la presente investigación, las actividades que demandaran vapor de la caldera, son las que se detallan en el cuadro que prosigue.

**Cuadro 5.2.** Proporción de materia prima con producto final

N° Actividad	Nombre de la Actividad	Demanda de Vapor	
		SI	NO
Actividad 1	Limpieza de los granos		X
Actividad 2	Lavado y Remojo		X
Actividad 3	Descascarillado		X
Actividad 4	Cocción y Molienda	X	
Actividad 5	Filtración		X
Actividad 6	Desactivación Enzimática	X	
Actividad 7	Homogenización		X
Actividad 8	Envasado		X
Actividad 9	Almacenamiento		X

Fuente: Elaboración propia.

Otros procesos que coadyuvan el proceso de obtención de leche de soja que demandaran vapor de la caldera son los siguientes:

- Equipos de limpieza CIP (Clean - In - Place).
- Ablandador (Donde se añadirá Bicarbonato de sodio al agua).
- Mezcladores de agua-vapor.

### 5.3. Diseño del Sistema de Vapor.

En lo que prosigue, se presenta los preceptos asumidos para la propuesta de diseño de vapor para una la planta procesadora de granos de soja para la obtención de leche de soja en la ciudad de Moyobamba.

- Aunque la leche de vaca sobrepasa los 1000 Kg por TM (Peso específico alrededor de 1033Kg/TM), en la presente investigación se consideró que el peso de un Kg de leche de soja equivale en peso al de un litro de agua, para efectos de darle cierta holgura a la producción de leche de soja.

- La proporción entre la materia prima principal «Grano de Soya» y el producto final «Leche de Soya» es de 1 a 5 en sus respectivas unidades, es decir, por cada Kg de soya se obtiene 5 Kg de leche de soya (1 litro  $\approx$  1 Kg de leche de soya). En el cuadro que prosigue se presenta la relación entre materia prima y producto final.

**Cuadro 5.3.** Ejemplo de proporción de materia prima con producto final.

Materia Prima	Cantidad	Total	Producto Final	Cantidad Final
Grano de soya	800 kg/h	5300 kg/h	Proteína de Soya	4000kg/h
Agua tratada	4300 kg/h			
Bicarbonato de sodio	200 kg/h		Fibra de Soya	1300kg/h

**Fuente:** PIL Andina S.A. (2004). Programa de capacitación vinculado al proyecto de diversificación industrial de PIL Andina – Cochabamba.

- De acuerdo a lo señalado en los párrafos precedentes, la propuesta estuvo orientada a diseñar el sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 kg/h con lo cual se obtendría en promedio 2500 litros de leche por hora.
- A un ritmo continuo de 8 horas diarias (sin contar las paradas entre proceso y proceso), la demanda anual de grano de soya sería equivalente a 1440 TM. Dicha demanda puede ser cubierto fácilmente por la producción de los departamentos de Piura, San Martín, Cajamarca y Amazonas, que en conjunto producen alrededor de 2180 TM (Ver: Cuadro 2.1); en efecto, la demanda de materia prima ascendería al 66% de la producción por temporada de soya de los departamentos en mención.
- La propuesta busca potenciar la producción regional de soya en el Perú, en efecto, los cuatro departamentos que servirán como proveedores de materia prima se localizan en el norte del país y son departamentos contiguos. La producción de leche de soya en el departamento de San Martín, cuya capital es la ciudad de

Moyobamba, busca promover la industrialización de los granos cultivados en la zona norte y nororiental del país.

- Dado que el consumo de soya en el país en su mayor parte es de granos importados los cuales se caracterizan por ser semillas genéticamente modificadas, es decir, transgénicos; la implantación de una planta de leche de soya que usa como materia prima granos de soya orgánicos, es una condición que reviste de importancia la propuesta de implementar una planta de leche de soya en la región norte del país, con materia prima proveniente de la misma zona.

La propuesta se desarrolló en términos de diseñar el sistema más relevante de una «Planta de Procesamiento de Granos de Soya para la obtención de Leche», es decir el sistema de vapor. Para efectos de diseño se consideró como elemento central de dicho sistema a la caldera y en torno a ella, los otros subsistemas que están directamente relacionados con dicho elemento central, es decir, las tuberías de vapor y las válvulas. Con respecto al consumo de vapor de los equipos de una planta de procesamiento de soya con fines de obtener leche, en el cuadro que prosigue se detalla algunos consumos brindados por el fabricante de calderas.

**Cuadro 5.4.** Ejemplo de consumo de vapor en planta.

ítem	Equipo	Cantidad	Presión de Trabajo	Consumo de Vapor Unitario (Kg/h)	Consumo de Vapor Total (Kg/h)
1.	Intercambiador de calor de etapa de molienda	1	6 bar	1100	1100
2.	Intercambiador en la etapa de desactivación enzimática	1	6 bar	1300	1300
3.	Equipos de limpieza CIP	1	6 bar	600	600
4.	Bicarbonato de sodio	1	6 bar	300	300
5.	Mezcladores de agua-vapor	2	6 bar	100	200
<b>TOTAL</b>					<b>3500</b>

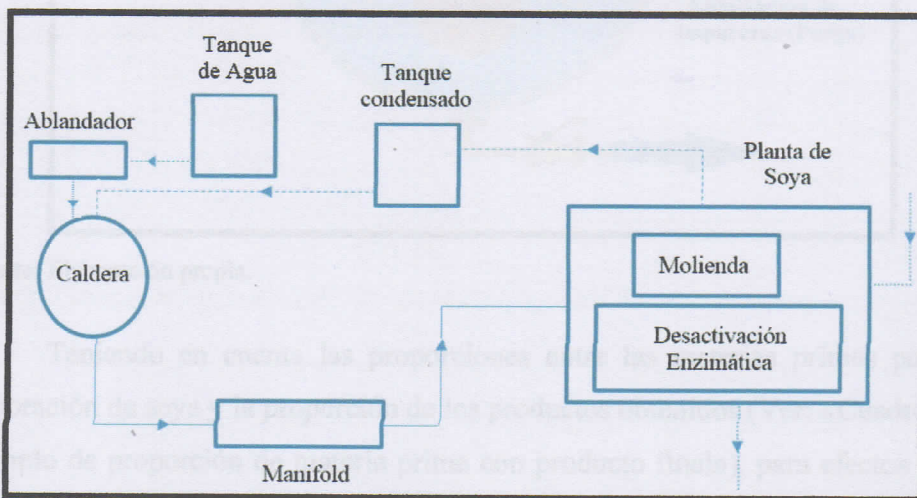
Fuente: PIL Andina S.A. (2004). Proyecto Planta 3: Proyecto de diversificación industrial de PIL Andina - Cochabamba.



Adicionalmente, para complementar el diseño, se consideró a los accesorios complementarios, aquellos que no están directamente relacionados con la caldera, pero cumplen una función importante de alimentación, regulación o distribución de la materia prima utilizada en la caldera.

Finalmente, en la figura que prosigue se esquematiza en forma general el sistema de vapor y los elementos complementarios que coadyuvan su puesta en funcionamiento.

**Figura 5.2.** Esquema general del sistema de vapor.



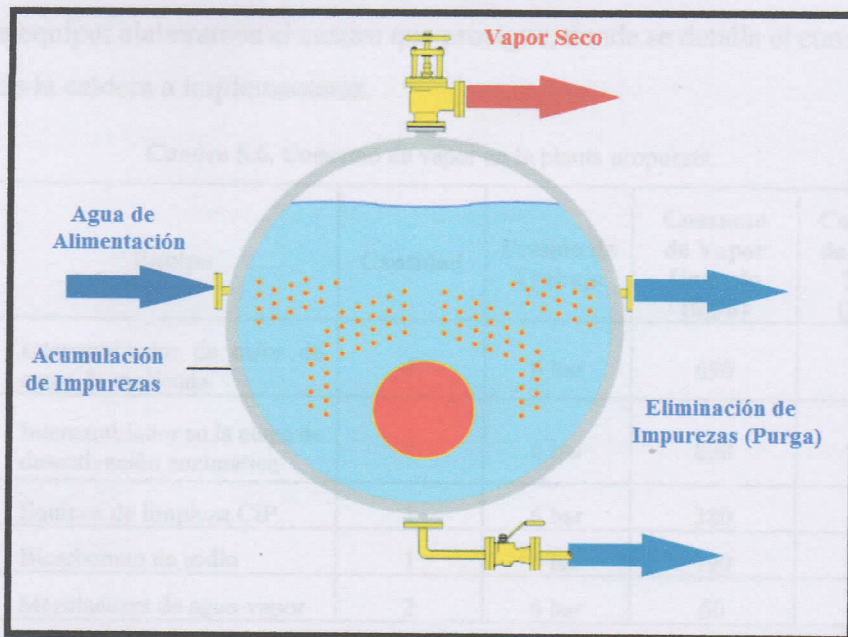
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.1. Diseño de la Caldera.

El combustible que utilizará la caldera, elemento principal del sistema de vapor de la propuesta de una «Planta de Procesamiento de Granos de Soja para la obtención de Leche de Soya» a establecerse en la ciudad de Moyobamba, será gas natural (GN) que se surtirá por tubería hacia una unidad reductora de presión y desde allí irá hacia la caldera propiamente dicha.

En la figura 5.3 se presenta el esquema básico de la caldera y como esta se interconecta con los otros subsistemas (Tuberías y Válvulas); en dicha figura es de destacar que los denominados elementos complementarios del sistema de vapor (Distribuidor, tanque de condensados, bombas, etc.) no figuran, ya que no tienen conexión directa con la caldera.

Figura 5.3. Esquema del subsistema caldera de vapor.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las proporciones entre las materias primas para la elaboración de soya y la proporción de los productos obtenidos (Ver: «Cuadro 5.3. Ejemplo de proporción de materia prima con producto final»), para efectos de la propuesta, por hora, se requerirá de la proporción de materia prima, y se obtendrá el producto final, especificados en el cuadro que prosigue.

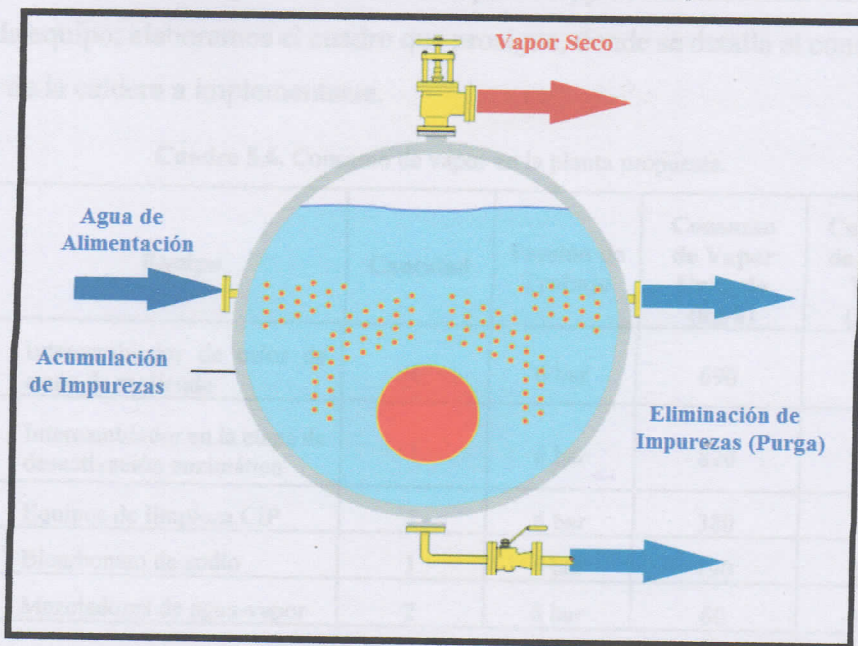
Cuadro 5.5. Cantidad de materia prima y producción de leche de soya de la propuesta (por hora).

Materia Prima	Cantidad	Total	Producto Final	Cantidad Final
Grano de soya	500 kg	3312 kg	Proteína de Soya	2500 kg
Agua tratada	2687 kg			
Bicarbonato de sodio	125 kg		Fibra de Soya	812 kg

Fuente: Elaboración propia con datos de Cuadro 5.3.

Teniendo en consideración la salvedad presentada en el párrafo anterior; y que, el consumo de vapor de la caldera que se utilizará en el proceso productivo de leche de soya, es facilitado por los fabricantes de las mismas en función de las características del producto a procesar, de su flujo másico, del incremento de

Figura 5.3. Esquema del subsistema caldera de vapor.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las proporciones entre las materias primas para la elaboración de soya y la proporción de los productos obtenidos (Ver: «Cuadro 5.3. Ejemplo de proporción de materia prima con producto final»), para efectos de la propuesta, por hora, se requerirá de la proporción de materia prima, y se obtendrá el producto final, especificados en el cuadro que prosigue.

Cuadro 5.5. Cantidad de materia prima y producción de leche de soya de la propuesta (por hora).

Materia Prima	Cantidad	Total	Producto Final	Cantidad Final
Grano de soya	500 kg	3312 kg	Proteína de Soya	2500 kg
Agua tratada	2687 kg			
Bicarbonato de sodio	125 kg		Fibra de Soya	812 kg

Fuente: Elaboración propia con datos de Cuadro 5.3.

Teniendo en consideración la salvedad presentada en el párrafo anterior; y que, el consumo de vapor de la caldera que se utilizará en el proceso productivo de leche de soya, es facilitado por los fabricantes de las mismas en función de las características del producto a procesar, de su flujo másico, del incremento de

temperatura que debe experimentar en cada proceso, y de las características propias de cada equipo; elaboramos el cuadro que prosigue, donde se detalla el consumo de vapor de la caldera a implementarse.

**Cuadro 5.6.** Consumo de vapor en la planta propuesta.

Ítem	Equipo	Cantidad	Presión de Trabajo	Consumo de Vapor Unitario (kg/h)	Consumo de Vapor Total (kg/h)
1.	Intercambiador de calor de etapa de molienda	1	6 bar	690	690
2.	Intercambiador en la etapa de desactivación enzimática	1	6 bar	820	820
3.	Equipos de limpieza CIP	1	6 bar	380	380
4.	Bicarbonato de sodio	1	6 bar	190	190
5.	Mezcladores de agua-vapor	2	6 bar	60	120
<b>TOTAL</b>					<b>2200</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de: Cuadro 5.4. Ejemplo de consumo de vapor en planta.

Para poder seleccionar correctamente el generador de vapor o también llamado «caldera» necesitamos conocer la demanda de vapor que tendrá la «Planta de Procesamiento de Granos de Soja para la obtención de Leche de Soya»; en ese sentido, del cuadro anterior se tiene que el consumo de vapor de la planta propuesta es de 2200 kg/h.

**Cuadro 5.7.** Clasificación de las calderas según sus características.

		CARACTERÍSTICAS DE CALDERAS			
TIPO DE CALDERA		PRESION MAXIMA	PRODUCCION MAX. NOMINAL VAPOR	SUPERFICIE DE CALEFAC. m <sup>2</sup>	COEFICIENTE DE EVAPORACION kg/h m <sup>2</sup>
PIROTUBULAR	Hogar exterior	10	3.500	22-230	12-15
	Escocesa	18	15.000	10-600	18-25
	Locomóvil	15	2.500	10-120	17-22
	Mixta	10	20.000	700	30-32
	Tambores	10	1.600	4-100	15
		15			
ACUOTUBULAR	Tubos Rectos	100	230.000	25-2300	20-100
	Tubos Curvos	225	2.000.000	mayor a 100	20-600
	Circulación Forzada	225	225.000 y más	-----	hasta 3.000

Fuente: "Descripción de Calderas y Generadores de Vapor" (Abarca, 2014, p.13).

Teniendo en cuenta el Cuadro 5.7., y dado que se requiere que la caldera ofrezca el vapor necesario para llevar agua a 90°C (Temperatura de molienda y cocción) desde 20°C. Se seleccionó una caldera pirotubular de hogar exterior, luego, el sistema de vapor tuvo en cuenta las siguientes condiciones de trabajo:

- Temperatura de agua de alimentación: 90°C.
- Presión de trabajo: 6 bares.
- Consumo de vapor total: 2200 kg/h = 4850 lb/h.

Para calcular la caldera para este proceso se tuvo en cuenta los criterios relacionados con la potencia y rendimiento de la caldera, es decir, “la relación entre la energía (calor) contenida en el vapor y el calor contenido en el combustible que se quema” (Abarca, 2014, p.4). Dicha relación lo expresamos en términos del flujo de vapor real del proceso que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_{vr} = \dot{m}_v \times F_e \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

- $\dot{m}_{vr}$ : Flujo másico real.
- $\dot{m}_v$ : Flujo másico de vapor.
- $F_e$ : Factor de evaporación.

Teniendo en cuenta que el Factor de Evaporación ( $F_e$ ) es el valor que se obtiene de dividir “la cantidad de kilos de vapor generados en una hora por el peso en kilos del combustible consumido en esa misma hora [lo cual...] indica el número de kilos de vapor que produce cada kilo de combustible quemado” (Abarca, 2013, p.5); de tablas obtuvimos el valor de  $F_e$ , en base a las condiciones de rendimiento (Ver: «Anexo 3. Rendimiento Útil de las Calderas ( $\eta_u$ )»):  $F_e = 1,083$ . Remplazando el valor de  $F_e$  en la ecuación N° 1, obtuvimos:

$$\dot{m}_{vr} = \frac{2200\text{kg}}{h} \times 1.083$$

$$\dot{m}_{vr} = 2382,6 \frac{Kg}{h}$$

Para seleccionar la caldera es necesario saber la potencia de la misma, en ese sentido, dicha potencia se calculó mediante la siguiente formula:

$$BHP = \frac{\dot{m}_{vr} \times (h_g - h_f)}{35322} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

BHP: Caballo de vapor en calderas.

$\dot{m}_{vr}$ : Flujo másico real.

$h_g$ : Entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo.

$h_f$ : Entalpía de líquido saturado a la presión de trabajo.

Nota:

35322, es el valor que sale del siguiente cálculo:

1 BHP es igual a la evaporación de 15,65 kg-agua/h, a los 100°C.

De tablas (En Anexo 4, ver: «Anexo 4.2. Tabla termodinámica para el agua saturada (líquido-vapor)»), se tiene que el valor de la entalpía de vaporización (100°C) del agua es de 2257,0 kJ/kg; por lo tanto:

$$15,65 \frac{\text{kg agua}}{\text{h}} \times 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg agua}} = 35322 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Asimismo, los valores de  $h_g$  y  $h_f$  también fueron tomados de las tablas termodinámicas presentadas en anexos (En Anexo 4, ver: «Anexo 4.2. Tabla termodinámica para el agua saturada (líquido-vapor)»), en ese sentido, para una presión de trabajo de 6 bares se obtuvieron los siguientes valores:

$h_g$ : 2512,40 kJ/kg.

$h_f$ : 25,20 kJ/kg.

Luego, reemplazando los valores  $h_g$  y  $h_f$  en la ecuación 2 se obtuvo:

$$BHP = \frac{2382,6 * (2512,40 - 25,20)}{35322}$$

$$BHP = 167,77 BHP$$

Según el BHP calculado tenemos que podríamos optar por calderas de capacidades de salidas nominales de 150 o 200 BHP (Ver: «Anexo 5. Tamaños de las Calderas según BHP»). En ese sentido elaboramos el cuadro comparativo que prosigue, para evaluar entre dichas opciones.

Cuadro 5.8. Cuadro comparativo de opciones para elegir la capacidad de la caldera.

Opción	BHP	Capacidad para producir Vapor (lb/h)	Consumo de vapor (lb/h)	Flujo másico real (lb/h)
Opción 1	150	5175	4850	5242
Opción 2	200	6900		

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro anterior, seleccionamos la caldera de 200 BHP; en razón de que cumple con las condiciones requeridas. Para mayores detalles sobre la caldera seleccionada, en anexos ver: «Anexo 6. Especificaciones técnicas para calderas».

### 5.3.2. Diseño de las tuberías de vapor.

Para el cálculo y selección de las tuberías de vapor que salen de la caldera, se tuvo en cuenta que las líneas de vapor empiezan donde inicia el flujo de vapor (salida de la caldera) y que según se distribuye el vapor demandado, aparecen diferentes tuberías que se seleccionaron según el uso del vapor o el recorrido propiamente dicho de éste (líneas de vapor). En lo que prosigue del presente apartado, se presenta el desarrollo seguido para seleccionar las diversas tuberías que transportan el vapor generado tanto hacia la demanda propia de las actividades de producción de leche de soya, como a los otros elementos intervinientes del sistema de vapor.

#### 5.3.2.1. Línea de vapor que va de la caldera al distribuidor o manifold.

Para hallar el diámetro interno, se tuvo en cuenta el flujo másico real ( $\dot{m}_{vr} = 2382,6 = 2383 \text{ Kg/h}$ ).

Para el diseño de la línea de vapor de la caldera de 200 BHP, se empleó la siguiente fórmula:

$$Di = \sqrt{\frac{4 * \dot{m}_{vr} * v}{3600 * \pi * \omega}}$$

Donde:

- Di : Diámetro interno de la tubería.
- $\dot{m}_v$  : Flujo de vapor.
- v : Volumen específico del fluido.
- $\omega$  : Velocidad del fluido.

Los valores de cada uno de los elementos de la fórmula, son:

$$\dot{m}_{vr} = 2383 \text{ kg/h.}$$

Del cuadro anterior, seleccionamos la caldera de 200 BHP; en razón de que cumple con las condiciones requeridas. Para mayores detalles sobre la caldera seleccionada, en anexos ver: «Anexo 6. Especificaciones técnicas para calderas».

### 5.3.2. Diseño de las tuberías de vapor.

Para el cálculo y selección de las tuberías de vapor que salen de la caldera, se tuvo en cuenta que las líneas de vapor empiezan donde inicia el flujo de vapor (salida de la caldera) y que según se distribuye el vapor demandado, aparecen diferentes tuberías que se seleccionaron según el uso del vapor o el recorrido propiamente dicho de éste (líneas de vapor). En lo que prosigue del presente apartado, se presenta el desarrollo seguido para seleccionar las diversas tuberías que transportan el vapor generado tanto hacia la demanda propia de las actividades de producción de leche de soya, como a los otros elementos intervinientes del sistema de vapor.

#### 5.3.2.1. Línea de vapor que va de la caldera al distribuidor o manifold.

Para hallar el diámetro interno, se tuvo en cuenta el flujo másico real ( $\dot{m}_{vr} = 2382,6 = 2383 \text{ Kg/h}$ ).

Para el diseño de la línea de vapor de la caldera de 200 BHP, se empleó la siguiente fórmula:

$$Di = \sqrt{\frac{4 * \dot{m}_{vr} * v}{3600 * \pi * \omega}}$$

Donde:

- Di : Diámetro interno de la tubería.
- $\dot{m}_v$  : Flujo de vapor.
- v : Volumen específico del fluido.
- $\omega$  : Velocidad del fluido.

Los valores de cada uno de los elementos de la fórmula, son:

$$\dot{m}_{vr} = 2383 \text{ kg/h.}$$



$v_{p/6} = 0,3213 \text{ m}^3/\text{kg}$  (En anexos, ver: «A.7. Tabla de Vapor de Agua Saturado»).

$\omega = 27 \text{ m/s}$  (En anexos, ver: «A.8. Velocidades Recomendadas para Fluidos»).

Luego, reemplazando los valores obtuvimos:

$$Di = \sqrt{\frac{4 * 2383 * 0,3213}{3600 * \pi * 27}}$$

$$Di = 0,1001\text{m} \cong 10\text{cm} \approx 4''$$

Para hallar el espesor mínimo de la pared de la tubería, con el valor del diámetro interior ingresamos a la tabla de espesores presentado en anexos (Ver: «Anexo 10. Especificaciones Técnicas para Tuberías»), obteniéndose el espesor mínimo de la pared del tubo ( $t_m$ ) en pulgadas:

$$t_m = 6,02\text{mm} = 0,24 \text{ pulgadas.}$$

Estandarizando según Tabla (En anexos, ver: «Anexo 10. Especificaciones Técnicas para Tuberías»), tenemos la siguiente identificación para la tubería que va de la caldera hacia el manifold:

**Cuadro 5.9.** Identificación de la tubería que va de Caldera a Manifold.

Número de cédula	Sch 40
Diámetro nominal	4"
Espesor de pared	0,24"
Material	A53A

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2.2. Líneas de vapor que salen del distribuidor o manifold.

Del distribuidor o manifold salen diversas líneas de tuberías o cañerías que llevan el vapor hacia puntos intermedios de redistribución o en forma directa al elemento consumidor de vapor. El cálculo de dichas líneas de tuberías sigue el mismo proceso mostrado en el apartado anterior, en ese sentido, y para evitar el

aspecto redundante de dicho cálculo, solamente mencionamos las otras líneas que conforman el subsistema tuberías del sistema de vapor, las cuales son:

- Línea de vapor que va del distribuidor o manifold de vapor a la estación reductora de presión de la planta de soya,
- Línea de vapor que va de la estación reductora de presión hacia la planta de leche de soya.
- Línea de vapor que va hacia la zona de molienda.
- Línea de vapor que va hacia la zona de desactivación enzimática.
- Línea de vapor que va hacia el módulo CIP.
- Línea de vapor que va hacia el tanque de bicarbonato de sodio.
- Línea de vapor que va hacia el mezclador agua-vapor.

### 5.3.2.3. Diseño de tuberías según elemento consumidor de vapor.

Teniendo en cuenta el Factor de Evaporación ( $F_e$ ) y los elementos consumidores de vapor del sistema, construimos el siguiente cuadro:

**Cuadro 5.11.** Consumo de vapor en la planta propuesta.

Elemento Consumidor de Vapor Saturado	Presión de Trabajo	Consumo de Vapor Unitario (kg/h)	Factor de Evaporación ( $F_e$ )	Consumo de Vapor Total (kg/h)
Intercambiador de calor de etapa de molienda	6 bar	690	1.083	747
Intercambiador en la etapa de desactivación enzimática	6 bar	820	1.083	888
Equipos de limpieza CIP	6 bar	380	1.083	412
Bicarbonato de sodio	6 bar	190	1.083	206
Mezcladores de agua-vapor	6 bar	60	1.083	65

**Fuente:** Elaboración propia.

En función a los elementos consumidores de vapor y el consumo de vapor cálculo para cada uno de dichos elementos, se calcularon las dimensiones de las tuberías que ingresan a cada uno de dichos elementos consumidores.

Cálculo de la tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia el elemento consumidor de la etapa de molienda (747 Kg/h):

CAUDAL(KG/H)	747
PRESION MANOMETRICA(KG/CM2)	6
VELOCIDAD(M/S)	27
VOLUMEN ESPECIFICO(M3/KG)	0,2778
TEMPERATURA CORRESP(GR C)	164,7
DIAM INTER CALC(MM)	52,1197578
DIAM;SCH ADOPTADO	2" SCH 40
DIAM INT ADOP(MM)(1)	52,5
ESPEJOR(MM)	3,91
ALTERN SCH XS -DIAM IN	49,3
ESPEJOR(MM)	5,54
VELOCIDAD DE RECALCULO(M/S)(1)	26,6103101

Cálculo de la tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia el elemento consumidor de la etapa de desactivación enzimática (888 Kg/h):

CAUDAL(KG/H)	888
PRESION MANOMETRICA(KG/CM2)	6
VELOCIDAD(M/S)	27
VOLUMEN ESPECIFICO(M3/KG)	0,2778
TEMPERATURA CORRESP(GR C)	164,7
DIAM INTER CALC(MM)	56,8261941
DIAM;SCH ADOPTADO	2 1/2" SCH40
DIAM INT ADOP(MM)(1)	63
ESPEJOR(MM)	5,16
ALTERN SCH XS -DIAM IN	59
ESPEJOR(MM)	7,01
VELOCIDAD DE RECALCULO(M/S)(1)	21,9674581

Cálculo de la tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia los equipos de limpieza CIP (412 Kg/h):

CAUDAL(KG/H)	412
PRESION MANOMETRICA(KG/CM2)	6
VELOCIDAD(M/S)	27
VOLUMEN ESPECIFICO(M3/KG)	0,2778
TEMPERATURA CORRESP(GR C)	164,7
DIAM INTER CALC(MM)	38,7071055
DIAM;SCH ADOPTADO	1 1/2" SCH40
DIAM INT ADOP(MM)(1)	40,9
ESPESOR(MM)	3,68
ALTERN SCH XS -DIAM IN	38,1
ESPESOR(MM)	5,08
VELOCIDAD DE RECALCULO(M/S)(1)	24,1823521

Cálculo de la tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia el mezclador de Bicarbonato de Sodio (206 Kg/h):

CAUDAL(KG/H)	206
PRESION MANOMETRICA(KG/CM2)	6
VELOCIDAD(M/S)	27
VOLUMEN ESPECIFICO(M3/KG)	0,2778
TEMPERATURA CORRESP(GR C)	164,7
DIAM INTER CALC(MM)	27,3700568
DIAM;SCH ADOPTADO	1 1/4" SCH40
DIAM INT ADOP(MM)(1)	35,1
ESPESOR(MM)	3,56
ALTERN SCH XS -DIAM IN	32,5
ESPESOR(MM)	4,85
VELOCIDAD DE RECALCULO(M/S)(1)	16,4172695

Cálculo de la tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia los mezcladores de agua-vapor (65 Kg/h):

CAUDAL(KG/H)	65
PRESION MANOMETRICA(KG/CM2)	6
VELOCIDAD(M/S)	27
VOLUMEN ESPECIFICO(M3/KG)	0,2778
TEMPERATURA CORRESP(GR C)	164,7
DIAM INTER CALC(MM)	15,3744209
DIAM;SCH ADOPTADO	1/2" SCH 40
DIAM INT ADOP(MM)(1)	15,8
ESPESOR(MM)	2,77
ALTERN SCH XS -DIAM IN	13,9
ESPESOR(MM)	3,7
VELOCIDAD DE RECALCULO(M/S)(1)	25,565078

#### 5.3.2.4. Aislamiento térmico para las tuberías.

La determinación del aislamiento para las tuberías dependerá del diámetro nominal de cada una de las secciones de tuberías y de la calidad de los materiales aislantes ofertados por los fabricantes.

Para la propuesta se optó por utilizar los materiales aislantes para tuberías ofertados por FIBERGLAS; en ese sentido, en anexos se presentan las características de funcionamiento por rangos de temperaturas y en función de los diámetros nominales (Ver: «Cuadro A.13.3. Características de funcionamiento del aislamiento según espesor de las tuberías», en Anexo 13). En el cuadro citado, ingresando con el diámetro determinado, se determinará el aislamiento para cada línea de vapor del sistema propuesto.

En el cuadro que prosigue se presentan las características de los aislantes de las líneas de vapor calculadas. Se consideró una temperatura de operación de hasta 232° C, ya que la temperatura máxima del sistema está alrededor de 170° C.

Cuadro 5.12. Aislamiento térmico para las tuberías de vapor en la planta propuesta.

LÍNEAS DE VAPOR	DIÁMETRO NOMINAL DEL TUBO	ESPESOR RECOMENDADO DEL AISLANTE	PÉRDIDA DE CALOR	TEMPERATURA DE SUPERFICIE APROXIMADA
Tubería que va de la caldera hacia el manifold.	4 pulgadas	2 pulgadas	105.08 W/m	40.5 °C
Tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia el elemento consumidor de la etapa de molienda.	2 pulgadas	2 pulgadas	67.49 W/m	38.3 °C
Tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia el elemento consumidor de la etapa de desactivación enzimática.	2 y ½ pulgadas	2 pulgadas	77.78 W/m	39.2 °C
Tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia los equipos de limpieza CIP.	1 y ½ pulgadas	2 pulgadas	55.37 W/m	36.2 °C
Tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia el mezclador de Bicarbonato de Sodio.	1 y ¼ pulgadas	2 pulgadas	52.58 W/m	36.3 °C
Tubería de vapor que va desde el intercambiador de calor hacia los mezcladores de agua-vapor.	½ pulgada	1 y ½ pulgada	44.13 W/m	38.9 °C

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2.5. Plano de instalación del sistema de vapor.

Referido al esquema del Sistema de Vapor Propuesto, en la Figura 5.4 presentamos el circuito agua-vapor de la caldera propuesta para el sistema de vapor diseñado. En dicha figura se diferencian los instrumentos propios del sistema de control continuo (representados mediante una circunferencia inscrita en un cuadro), de los de seguridad (representada mediante un rombo inscrito en un cuadro). En el circuito se puede observar como el agua de alimentación, a las condiciones de presión y temperatura adecuadas, procedente del sistema de bombeo es suministrada a la caldera a través de un alimentador. El vapor saturado generado se deriva hacia el MANIFOLD, el cual se encarga de la distribución en función a la demanda de los elementos consumidores de vapor del sistema.

Las variables que hay que regular, controlar y vigilar en el circuito de vapor son las siguientes:

- Transmisores de presión diferencial (LT).
- Transmisores de presión (PT).
- Medidores de nivel (LT).
- Medidores de presión (PT).
- Caudal de agua de alimentación (FT).
- Caudal de vapor (FT).
- Válvula de control (LV).
- Medidores de presión (PT).
- Medidores de temperatura (TT).
- Válvula de control (TV).

Finalmente, es de hacer notar que, las abreviaturas presentadas deben ser interpretadas según su ubicación según corresponda dentro del circuito de vapor del sistema de vapor diseñado cuyo esquema de funcionamiento se presenta a continuación.

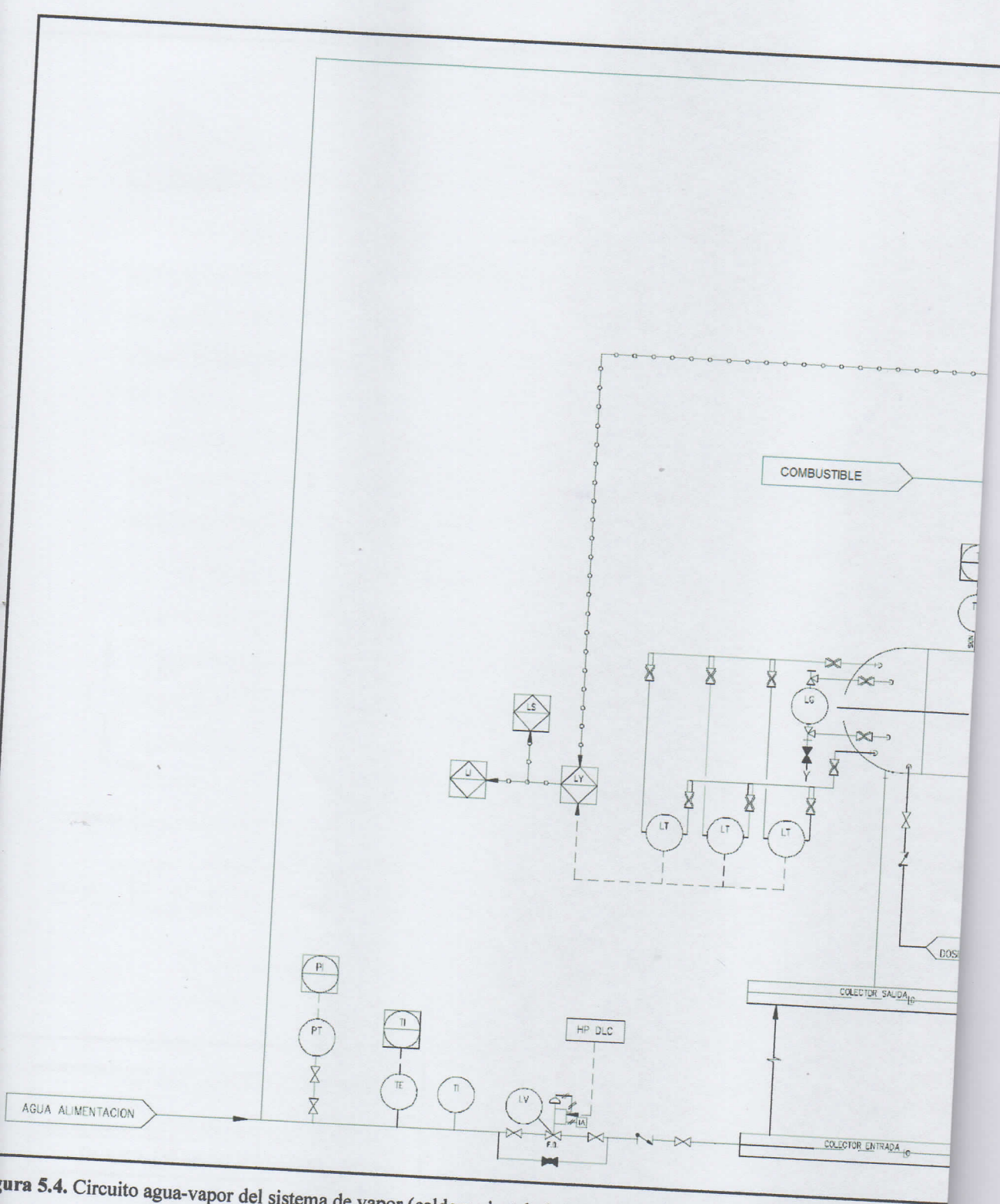


Figura 5.4. Circuito agua-vapor del sistema de vapor (caldera pirotubular de hogar exterior).  
Fuente: Elaboración propia.



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

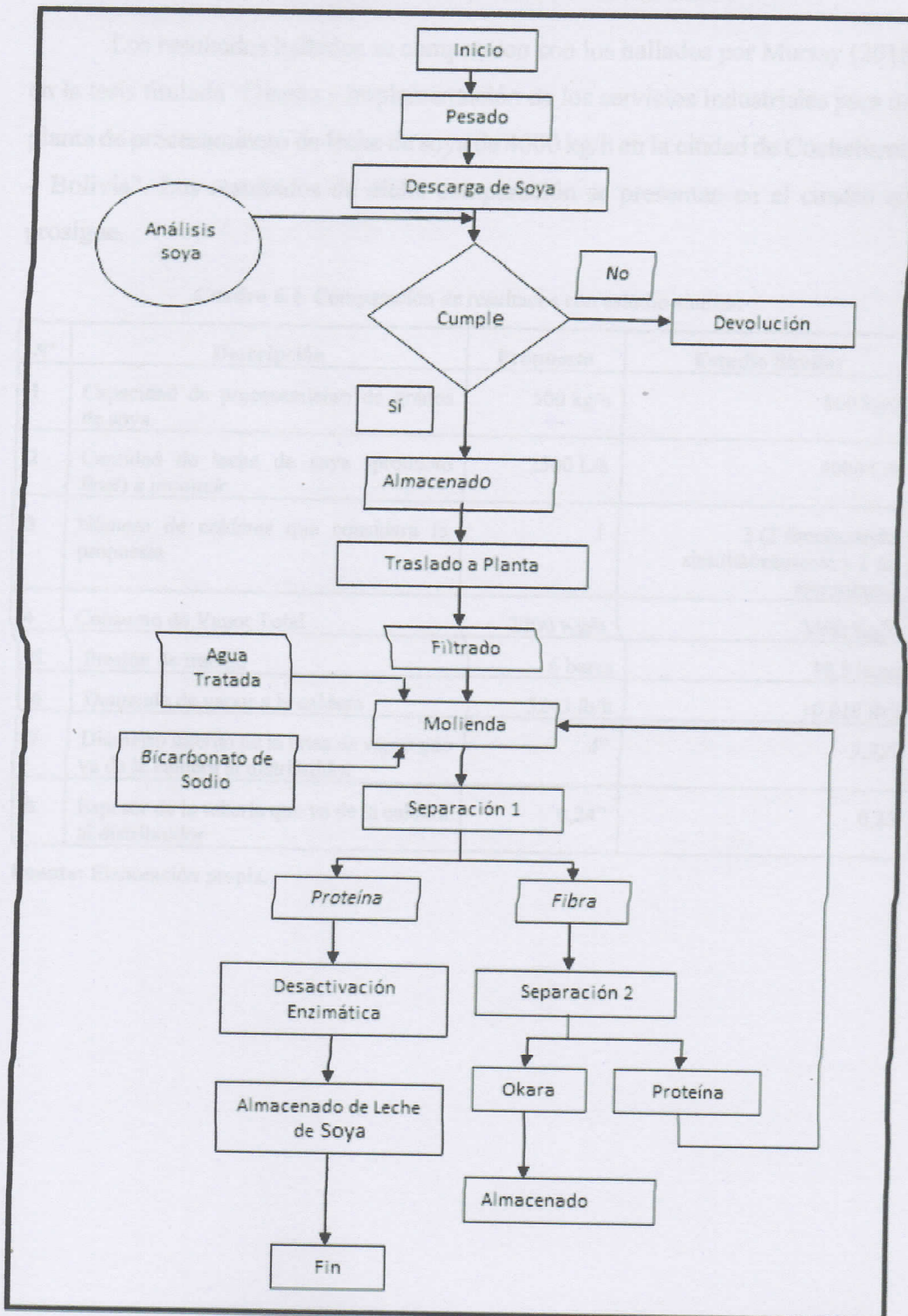
### 6.1. Contratación de hipótesis con los resultados.

La primera hipótesis específica fue formulada de la siguiente manera: “Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de calderas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h”. Dicha hipótesis queda demostrada por inspección de los siguientes cuadros: El Cuadro 5.6., en el cual se determina el consumo de vapor que tendrá la planta propuesta; el Cuadro 5.8., en el cual se sintetiza mediante un cuadro comparativo, las opciones para elegir la capacidad de la caldera, resultando pertinente la opción 2 que corresponde a una caldera de 200 BHP.

La segunda hipótesis específica fue formulada de la siguiente manera: “Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de tuberías del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h”. Dicha hipótesis queda comprobada al desarrollar el cálculo de la línea de vapor que va de la caldera al distribuidor o manifold, en el cual se obtuvo que se requiere una tubería de diámetro interior 4 pulgadas, con un espesor mínimo para la pared de la tubería de 0,24 pulgadas. Además de ello, se determinó que la tubería debería ser según la norma ASTM A 53 Grado A, Schedule 40 (con costura), que resulta siendo adecuada para cañerías de acero que resisten una presión de prueba de 10,7 MPa.

Por otro lado, la hipótesis general que fuera enunciada como: “El diseño de un sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soja de 500 Kg/h contribuirá a la implementación de una planta procesadora para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba”; queda contrastada como resultado de la sistematización de las hipótesis específicas. Asimismo, para efectos de una posterior implementación de la propuesta y complementando la contratación de la hipótesis general, presentamos en forma gráfica las actividades y procesos involucrados en la operación y funcionamiento de la planta para la elaboración de leche de soya, cuyo sistema de vapor fue objeto de estudio en la presente investigación.

Figura 6.1. Proceso de obtención de Leche de Soya seguido en «PIL Andina S.A.».



Fuente: Elaboración propia.

## 6.2. Contratación de resultados con otros estudios similares.

Los resultados hallados se compararon con los hallados por Murray (2018), en la tesis titulada “Diseño e implementación de los servicios industriales para una planta de procesamiento de leche de soya de 4000 kg/h en la ciudad de Cochabamba – Bolivia”. Los resultados de dicha comparación se presentan en el cuadro que prosigue.

**Cuadro 6.1.** Comparación de resultados con estudio similar.

Nº	Descripción	Propuesta	Estudio Similar
1	Capacidad de procesamiento de granos de soya	500 kg/h	800 kg/h
2	Cantidad de leche de soya (producto final) a producir	2500 L/h	4000 L/h
3	Número de calderas que considera la propuesta	1	3 (2 funcionando simultáneamente y 1 de reemplazo)
4	Consumo de Vapor Total	2200 Kg/h	3500 Kg/h
5	Presión de trabajo	6 bares	10,5 bares
6	Demanda de vapor a la caldera	5243 lb/h	10 010 lb/h
7	Diámetro interno de la línea de vapor que va de la caldera al distribuidor	4"	3,32"
8	Espesor de la tubería que va de la caldera al distribuidor	0,24"	0,23

**Fuente:** Elaboración propia.

## VII. CONCLUSIONES

- 1.- Con respecto a determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de calderas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soja de 500 Kg/h; se logró determinar que la caldera adecuada es la Piro-tubular con hogar externo de 200 BHP.
- 2.- Con respecto a determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de tuberías del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soja de 500 Kg/h; se logró establecer que estas deben ser de 4" de diámetro para el caso de la que comunica la caldera con el manifold.
- 3.- La planta procesadora de granos de soja para la obtención de leche, producirá al año alrededor de 7 150 000 litros de leche de soya, cubriendo el 20% de la costumbre de consumo de lácteos en la población objetivo *conformada por los pobladores de los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Huánuco, La Libertad y San Martín.*
- 4.- La demanda de materia prima para la obtención de leche, el grano de soya, es fácilmente cubierto en su totalidad por la producción de dicho grano en el departamento de San Martín y los departamentos contiguos.

## VIII. RECOMENDACIONES

- 1.- Dado que en la presente investigación solo se abordó lo referente al sistema de vapor de la planta procesadora de leche de soya objeto de la propuesta, se recomienda complementar la presente tesis con otras en las cuales se realice el diseño de los otros sistemas, por ejemplo, sistema eléctrico, sistema de agua tratada.
- 2.- Se recomienda desarrollar un estudio para determinar la ubicación óptima de la planta teniendo en cuenta aspectos referidos a la disponibilidad de materia prima proveniente de los departamentos considerados como abastecedores y la población objetivo de cada uno de los departamentos a los que se planea abastecer con leche de soya.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca Bahamondes, P. (2013). *Descripción de Calderas y Generadores de Vapor*. Santiago: Asociación Chilena de Seguridad.
- Abarca Bahamondes, P. (2014). *Potencia y Rendimiento de la Caldera*. Santiago: Asociación Chilena de Seguridad.
- Aguilera, M. (2009). *Implantación de Planta Comunitaria para la Producción de leche de soya en el sector de Las Malvinas de la ciudad de Guayaquil*. (Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/13491>
- Akinin, Y. (Dir.) (2012). Líneas de producción de leche de soya. Recuperado de <http://www.akicorp.net/>
- Choque León, J. A. (2018). *Diseño de un sistema de revaporizado aprovechando el condensado de los equipos de secado para reducir el consumo de combustible en una empresa pesquera*. (Tesis de grado). Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Cleaver-Brooks (2003). *Modelo CBL Caldera Empacada. Manual de operación, servicio y partes 800 a 1500 caballos de potencia combustible: aceite ligero, aceite denso, gas o combinación*. Thomasville, GA: Ediciones del Autor.
- Cleaver-Brooks (2005). *Modelo CB - Caldera tipo Paquete. Manual de operación, servicio y repuestos 15-800 caballos caldera: gas, aceite o combinación*. Thomasville, GA: Ediciones del Autor.
- Compañía Roca Radiadores (2001). *Cálculo de rendimientos de las calderas e instalaciones: Prevención contra las condensaciones y corrosión del agua*.

- Montajes e instalaciones: *Revista técnica sobre la construcción e ingeniería de las instalaciones*; 31(348), 111-124.
- Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2013). *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Crespo, C. y Landines, E. (2011). *Diseño de una planta de procesamiento de leche de soya para la Fundación Hogar de Cristo* (Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19463>.
- Google Map Data (2018). [Termino de búsqueda: Baños Sulfurosos de Oromina]. Recuperado de <https://www.google.com.pe/maps/place/>
- Guañuna, J. (2008). *Creación de una empresa para la producción y comercialización de leche y granola de soya en el Valle de Los Chillos* (Tesis de Grado, Escuela Politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1496>
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. (5ta ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana.
- Hernández Orozco, F. A. y Mora Moreno, D. P. (2009). *Diseño de producto para la creación futura de una empresa productora y comercializadora de bebidas saludables a base de soya para el mercado de la ciudad de Bogotá, cuyos flujos de información estén soportados en tecnologías de la información*. (Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana). Extraído de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7259>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2004). *Cadena agroindustrial de la soya*. Managua: IICA.

Montajes e instalaciones: *Revista técnica sobre la construcción e ingeniería de las instalaciones*; 31(348), 111-124.

Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2013). *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A.

Crespo, C. y Landines, E. (2011). *Diseño de una planta de procesamiento de leche de soya para la Fundación Hogar de Cristo* (Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19463>.

Google Map Data (2018). [Termino de búsqueda: Baños Sulfurosos de Oromina]. Recuperado de <https://www.google.com.pe/maps/place/>

Guañuna, J. (2008). *Creación de una empresa para la producción y comercialización de leche y granola de soya en el Valle de Los Chillos* (Tesis de Grado, Escuela Politécnica del Ejército). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1496>

Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. (5ta ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana.

Hernández Orozco, F. A. y Mora Moreno, D. P. (2009). *Diseño de producto para la creación futura de una empresa productora y comercializadora de bebidas saludables a base de soya para el mercado de la ciudad de Bogotá, cuyos flujos de información estén soportados en tecnologías de la información*. (Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana). Extraído de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7259>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2004). *Cadena agroindustrial de la soya*. Managua: IICA.



Instituto Nacional de Estadística e Informática (2008). *Perfil sociodemográfico del Perú*. (2da ed.). Lima: INEI.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2012). *Perú: Consumo per cápita de los principales alimentos 2008 – 2009*. Lima: Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales – INEI.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014). *Compendio Estadístico Perú 2014*. Lima: INEI.

Kohan, A. L. (2000). *Manual de Calderas: Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas*. (Vol. I y II). Traducción de Claudio Míguez Gómez y Ramón Urcela y Azpitarte. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.

Lira Segura J. (Dir.) (2015, 25 de setiembre). CONTILATIN invertirá en aumentar producción de harina de soya. *Diario Gestión*. Lima: Empresa Editora El Comercio S.A.

López Jimeno, C. (Dir.) (2009). *Guía Básica: Calderas de condensación*. Madrid: Comunidad de Madrid.

Macías, E. (2003). *Diseño de Estrategias de Introducción para la Línea Leche de Soya de la Empresa de Alimentos Alfa Productos Nordland Ltda.* (Tesis de Grado, Universidad Técnica de Oruro). Recuperado de <http://dpicuto.edu.bo/tesis/attachments/article/1099/>

Mariluz Jiménez, I. W. (2012). *Procedimiento para mantenimiento preventivo y correctivo de calderos e instalaciones de vapor para reducir la ocurrencia de fallas aplicando nuevos métodos mejorados*. Callao: Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad Nacional del Callao.

- Meléndez Gómez, S. A. (2006). *Conversión a gas natural seco de una caldera pirotubular con potencia de 500 BHP que trabaja con Diésel -2*. (Tesis de Grado). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2015). *Sistema Integrado de Estadística Agraria SIEA*. Lima: MINAGRI.
- Morales Blancas, E. F. (2012). Apuntes del Curso Ingeniería de Servicios. Recuperado de <http://www.icytal.uach.cl/efmb/apuntes/ITCL286/Teoría/>
- Murray Rivera, R. A. (2018). *Diseño e implementación de los servicios industriales para una planta de procesamiento de leche de soya de 4000 kg/h en la ciudad de Cochabamba – Bolivia*. (Tesis de Grado). Arequipa: Universidad Católica de Santa María
- Ordoñez Saavedra, R. y Arévalo Acosta, F. (2012). *Estudio de factibilidad y diseño para una planta procesadora de leche de soya*. (Tesis de Grado, Universidad Estatal de Milagro). Recuperado de <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/1877>
- Owens Corning (2008). FIBERGLAS: Aislamiento para tubería. México: Owens Corning – Latinoamérica. Recuperado de <http://www2.owenscorning.com/worldwide/mexico/pdfs/TUBERIA.pdf>
- Pamplona, J. (2013). *El poder medicinal de los alimentos*. (9na impresión). Madrid: Editorial Safeliz, S. L.
- Pastor, V. y Perote, A. (Coord.) (2007). *La salud y la soja*. Madrid: Editores Médicos S.A. - EDIMSA.
- PIL Andina S.A. (Coord.) (2004). *Programa de capacitación vinculado al proyecto de diversificación industrial de PIL Andina - Cochabamba*. Cochabamba: Autor.

- Renedo, C. J. (2001). Curso Aire Acondicionado – Calderas. Recuperado de <http://personales.unican.es/reneoc/index.htm>
- Rodríguez, L. (2006). *Evaluación de la factibilidad de incorporación de leche de soya en la dieta de la población de San Juan Chamelco, Alta Verapaz* (Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala). Extraído de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_2476.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2476.pdf)
- Trinidad, R. (2015). En el Perú ya se consumen transgénicos. En: *Agro Noticias*, edición N° 420: 18-21.
- Tormene Americana S.A. (2007). *Quemador Monotobera para Gas TA-91*. Buenos Aires: Ediciones del Autor.
- Torres Bardales, C. (2002). *Orientaciones Básicas de Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Libros y Publicaciones.
- Vinza, A. y Vire, C. (2011). *Estudio de factibilidad para el diseño de una planta procesadora de lácteos en la ciudad de Chambo, provincia de Chimborazo*. (Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/999/1/85T00189.pdf>

## ANEXOS

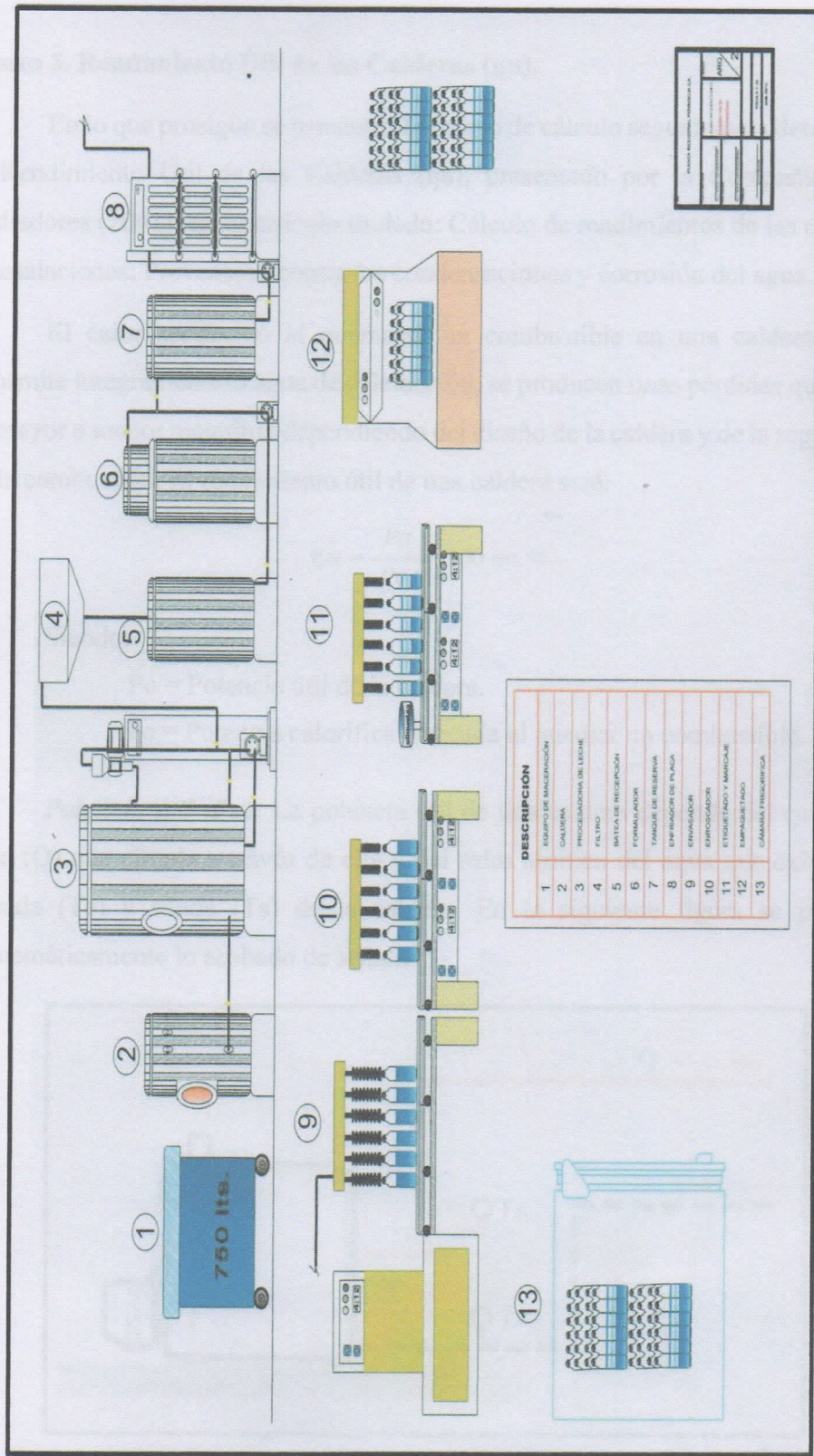
### Anexo 1. Matriz de consistencia.

**Título:** Diseño del Sistema de Vapor para una Planta Procesadora de Granos de Soya de 500 Kg/h para la obtención de Leche en la ciudad de Moyobamba.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
<p><b>General:</b> ¿Cuál es el diseño adecuado para implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba?</p> <p><b>Específicos:</b> a) ¿Qué requisitos debe cumplir el subsistema de calderas para poder implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h? b) ¿Qué requisitos debe cumplir el subsistema de tuberías para poder implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h?</p>	<p><b>General:</b> Diseñar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h de capacidad para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba.</p> <p><b>Específicos:</b> a) Determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de calderas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h. b) Determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de tuberías del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.</p>	<p><b>General:</b> El diseño de un sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h contribuirá a la implementación de una planta procesadora para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba.</p> <p><b>Específicas:</b> a) Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de calderas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h. b) Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de tuberías del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> «Línea base para la Propuesta».</p> <p><b>Indicadores de la variable independiente:</b> - Ubicación de la Planta. - Mercado Objetivo. - Consideraciones para el Diseño del Sistema de Vapor. - Esquema General de la Propuesta.</p> <p><b>Variable Dependiente:</b> «Diseño del sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h».</p> <p><b>Indicadores de la variable dependiente:</b> - Diseño de las calderas. - Diseño de las tuberías de vapor.</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Explicativa. <b>Diseño de Investigación:</b> Pre experimento, se trata de un estudio de caso con una sola medición.</p> <p><b>Población y Muestra:</b> La población está conformada por la totalidad de propuestas de implementación de plantas procesadoras de granos de soya con fines de producir leche en el Perú. La muestra referencial estará constituido por la</p>

<p>c) ¿Qué requisitos debe cumplir el subsistema de válvulas para poder implementar el sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h?</p> <p>d) ¿Qué elementos complementarios se requiere para el sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h?</p>	<p>c) Determinar las especificaciones técnicas para el subsistema de válvulas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.</p> <p>d) Seleccionar los elementos complementarios del sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.</p>	<p>c) Es factible establecer las especificaciones técnicas para el subsistema de válvulas del sistema de vapor de una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.</p> <p>d) Es factible prever los elementos complementarios del sistema de vapor para una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h.</p>	<p>- Selección de las válvulas. - Selección de los accesorios complementarios.</p>	<p>propuesta de implementar una planta procesadora de granos de soya de 500 Kg/h de capacidad para la obtención de leche de soya en la ciudad de Moyobamba.</p>
---	---	--	--	---

**Anexo 2. Máquinas y Equipos que intervienen en la producción de Leche de Soya.**



Fuente: Estudio de factibilidad para la creación de una fábrica de procesamiento de leche de soya, ubicado en el cantón Santa Elena; p.142.



La fórmula utilizada para determinar la potencia útil de una caldera es la siguiente:

$$Pu = Q \cdot (Ts - Te) \cdot Ce \cdot Pe$$

De la formula anterior, se tiene que para el caso del agua se cumple que:

$$Pu = Q (Ts - Te)$$

En donde:

Pu = Potencia útil en kcal/h.

Q = Caudal en l/h.

Ts = Temperatura del agua a la salida en °C.

Te = Temperatura del agua a la entrada en °C.

Ce = Calor específico en kcal/h. kg. °C. = 1 para agua.

Pe = Peso específico en kg/dm<sup>3</sup> = 1 para el agua.

**Nota:** La mayoría de fabricantes de calderas, en sus informaciones técnicas, indican las potencias útiles.

**Potencia quemada (Pc):** La potencia obtenido al quemar un combustible depende del Poder Calorífico Inferior, siendo éste el calor que desprende al quemarse una unidad de peso o volumen y de la cantidad de combustible utilizado en una hora.

$$Pc = PCI \cdot C$$

En donde:

Pc = Potencia quemada en kcal/h.

C = Consumo combustible en kg/h o Nm<sup>3</sup>/h.

PCI = Poder Calorífico Inferior del combustible:

Gasóleo = 10.200 kcal/kg.

Fuelóleo = 9.700 kcal/kg.

Antracita = 7.000 kcal/kg.

Gas Ciudad = 3.800 kcal/Nm<sup>3</sup>.

Gas Natural = 9.300 kcal/Nm<sup>3</sup>.

Propano = 22.000 kcal/Nm<sup>3</sup>.



#### Anexo 4. Tablas Termodinámicas.

En lo que prosigue se presentan tablas termodinámicas utilizadas en el cálculo para la selección de la caldera. Las tablas presentadas por Renedo (2001), sirvieron para obtener los valores de la entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo ( $h_g$ ) y la entalpía de líquido saturado a la presión de trabajo ( $h_f$ ).

##### Anexo 4.1. Propiedades del agua, vapor sobrecalentado

$T$	$v$	$u$	$h$	$s$
$^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3/\text{kg}$	$\text{kJ}/\text{kg}$	$\text{kJ}/\text{kg}$	$\text{kJ}/\text{kg K}$

$p = 10,0 \text{ bar} = 1,0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 179,91 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )				
Sat	0,1944	2583,6	2778,1	6,5865
200	0,2060	2621,9	2827,9	6,6940
240	0,2275	2692,9	2920,4	6,8817
280	0,2480	2760,2	3008,2	7,0465
320	0,2678	2826,1	3093,9	7,1962
360	0,2873	2891,6	3178,9	7,3349
400	0,3066	2957,3	3263,9	7,4651
440	0,3257	3023,6	3349,3	7,5883
500	0,3541	3124,4	3478,5	7,7622
540	0,3729	3192,6	3565,6	7,8720
600	0,4011	3296,8	3697,9	8,0290
640	0,4198	3367,4	3787,2	8,1290

$p = 20,0 \text{ bar} = 2,0 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 212,42^{\circ}\text{C}$ )				
Sat	0,0996	2600,3	2799,5	6,3409
240	0,1085	2659,6	2876,5	6,4952
280	0,1200	2736,4	2976,4	6,6828
320	0,1308	2807,9	3069,5	6,8452
360	0,1411	2877,0	3159,3	6,9917
400	0,1512	2945,2	3247,6	7,1271
440	0,1611	3013,4	3335,5	7,2540
500	0,1757	3116,2	3467,6	7,4317
540	0,1853	3185,6	3556,1	7,5434
600	0,1996	3290,9	3690,1	7,7024
640	0,2091	3362,2	3780,4	7,8035
700	0,2232	3470,9	3917,4	7,9487

Anexo 4.2. Tabla termodinámica para el agua saturada (líquido-vapor).

En lo que prosigue se presenta la tabla para obtener los valores de la entalpía de vapor saturado a la presión de trabajo ( $h_g$ ) y la entalpía de líquido saturado a la presión de trabajo ( $h_f$ ).

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas y presión.

Temp.	Presión	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		m <sup>3</sup> /kg		kJ/kg		kJ/kg			kJ/kg K	
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Vapor	Líquido	Vapor
°C	bar	sat.	sat.	sat.	sat.	sat.	vaporiz.	sat.	sat.	sat.
		$v_f \times 10^3$	$v_g$	$u_f$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_g$
.01	0,00611	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
4	0,00813	1,0001	157,232	16,77	2380,9	16,78	2491,9	2508,7	0,0610	9,0514
5	0,00872	1,0001	147,120	20,97	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	9,0257
6	0,00935	1,0001	137,734	25,19	2383,6	25,20	2487,2	2512,4	0,0912	9,0003
8	0,01072	1,0002	120,917	33,59	2386,4	33,60	2482,5	2516,1	0,1212	8,9501
10	0,01228	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008
11	0,01312	1,0004	99,857	46,20	2390,5	46,20	2475,4	2521,6	0,1658	8,8765
12	0,01402	1,0005	93,784	50,41	2391,9	50,41	2473,0	2523,4	0,1806	8,8524
13	0,01497	1,0007	88,124	54,60	2393,3	54,60	2470,7	2525,3	0,1953	8,8285
14	0,01598	1,0008	82,848	58,79	2394,7	58,80	2468,3	2527,1	0,2099	8,8048
15	0,01705	1,0009	77,926	62,99	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,7814
16	0,01818	1,0011	73,333	67,18	2397,4	67,19	2463,6	2530,8	0,2390	8,7582
17	0,01938	1,0012	69,044	71,38	2398,8	71,38	2461,2	2532,6	0,2535	8,7351
18	0,02064	1,0014	65,038	75,57	2400,2	75,58	2458,8	2534,4	0,2679	8,7123
19	0,02198	1,0016	61,293	79,76	2401,6	79,77	2456,5	2536,2	0,2823	8,6897
20	0,02339	1,0018	57,791	83,95	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,6672
21	0,02487	1,0020	54,514	88,14	2404,3	88,14	2451,8	2539,9	0,3109	8,6450
22	0,02645	1,0022	51,447	92,32	2405,7	92,33	2449,4	2541,7	0,3251	8,6229
23	0,02810	1,0024	48,574	96,51	2407,0	96,52	2447,0	2543,5	0,3393	8,6011
24	0,02985	1,0027	45,883	100,70	2408,4	100,70	2444,7	2545,4	0,3534	8,5794
25	0,03169	1,0029	43,360	104,88	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,5580
26	0,03363	1,0032	40,994	109,06	2411,1	109,07	2439,9	2549,0	0,3814	8,5367
27	0,03567	1,0035	38,774	113,25	2412,5	113,25	2437,6	2550,8	0,3954	8,5156
28	0,03782	1,0037	36,690	117,42	2413,9	117,43	2435,2	2552,6	0,4093	8,4946
29	0,04008	1,0040	34,733	121,60	2415,2	121,61	2432,8	2554,5	0,4231	8,4739
30	0,04246	1,0043	32,894	125,78	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,4533
31	0,04496	1,0046	31,165	129,96	2418,0	129,97	2428,1	2558,1	0,4507	8,4329
32	0,04759	1,0050	29,540	134,14	2419,3	134,15	2425,7	2559,9	0,4644	8,4127
33	0,05034	1,0053	28,011	138,32	2420,7	138,33	2423,4	2561,7	0,4781	8,3927
34	0,05324	1,0056	26,571	142,50	2422,0	142,50	2421,0	2563,5	0,4917	8,3728
35	0,05628	1,0060	25,216	146,67	2423,4	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	8,3531
36	0,05947	1,0063	23,940	150,85	2424,7	150,86	2416,2	2567,1	0,5188	8,3336
38	0,06632	1,0071	21,602	159,20	2427,4	159,21	2411,5	2570,7	0,5458	8,2950
40	0,07384	1,0078	19,523	167,56	2430,1	167,57	2406,7	2574,3	0,5725	8,2570
45	0,09593	1,0099	15,258	188,44	2436,8	188,45	2394,8	2583,2	0,6387	8,1648
50	0,1235	1,0121	12,032	209,32	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	0,7038	8,0763
55	0,1576	1,0146	9,568	230,21	2450,1	230,23	2370,7	2600,9	0,7679	7,9913
60	0,1994	1,0172	7,671	251,11	2456,6	251,13	2358,5	2609,6	0,8312	7,9096
65	0,2503	1,0199	6,197	272,02	2463,1	272,06	2346,2	2618,3	0,8935	7,8310
70	0,3119	1,0228	5,042	292,95	2469,6	292,98	2333,8	2626,8	0,9549	7,7553
75	0,3858	1,0259	4,131	313,90	2475,9	313,93	2321,4	2635,3	1,0155	7,6824
80	0,4739	1,0291	3,407	334,86	2482,2	334,91	2308,8	2643,7	1,0753	7,6122
85	0,5783	1,0325	2,828	355,84	2488,4	355,90	2296,0	2651,9	1,1343	7,5445
90	0,7014	1,0360	2,361	376,85	2494,5	376,92	2283,2	2660,1	1,1925	7,4791
95	0,8455	1,0397	1,982	397,88	2500,6	397,96	2270,2	2668,1	1,2500	7,4159
100	1,014	1,0435	1,673	418,94	2506,5	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	7,3549
110	1,433	1,0516	1,210	461,14	2518,1	461,30	2230,2	2691,5	1,4185	7,2387
120	1,985	1,0603	0,8919	503,50	2529,3	503,71	2202,6	2706,3	1,5276	7,1296
130	2,701	1,0697	0,6685	546,02	2539,9	546,31	2174,2	2720,5	1,6344	7,0269
140	3,613	1,0797	0,5089	588,74	2550,0	589,13	2144,7	2733,9	1,7391	6,9299
150	4,758	1,0905	0,3928	631,68	2559,5	632,20	2114,3	2746,5	1,8418	6,8379
160	6,178	1,1020	0,3071	674,86	2568,4	675,55	2082,6	2758,1	1,9427	6,7502
170	7,917	1,1143	0,2428	718,33	2576,5	719,21	2049,5	2768,7	2,0419	6,6663
180	10,02	1,1274	0,1941	762,09	2583,7	763,22	2015,0	2778,2	2,1396	6,5857
190	12,54	1,1414	0,1565	806,19	2590,0	807,62	1978,8	2786,4	2,2359	6,5079
200	15,54	1,1565	0,1274	850,65	2595,3	852,45	1940,7	2793,2	2,3309	6,4323
210	19,06	1,1726	0,1044	895,53	2599,5	897,76	1900,7	2798,5	2,4248	6,3585
220	23,18	1,1900	0,08619	940,87	2602,4	943,62	1858,5	2802,1	2,5178	6,2861
230	27,95	1,2088	0,07158	986,74	2603,9	990,12	1813,8	2804,0	2,6099	6,2146
240	33,44	1,2291	0,05976	1033,2	2604,0	1037,3	1766,5	2803,8	2,7015	6,1437
250	39,73	1,2512	0,05013	1080,4	2602,4	1085,4	1716,2	2801,5	2,7927	6,0730
260	46,88	1,2755	0,04221	1128,4	2599,0	1134,4	1662,5	2796,6	2,8838	6,0019
270	54,99	1,3023	0,03564	1177,4	2593,7	1184,5	1605,2	2789,7	2,9751	5,9301
280	64,12	1,3321	0,03017	1227,5	2586,1	1236,0	1543,6	2779,6	3,0668	5,8571
290	74,36	1,3656	0,02557	1278,9	2576,0	1289,1	1477,1	2766,2	3,1594	5,7821
300	85,81	1,4036	0,02167	1332,0	2563,0	1344,0	1404,9	2749,0	3,2534	5,7045
320	112,7	1,4988	0,01549	1444,6	2525,5	1461,5	1238,6	2700,1	3,4480	5,5362
340	145,9	1,6379	0,01080	1570,3	2464,6	1594,2	1027,9	2622,0	3,6594	5,3357

Fuente: Renedo (2001). Curso Aire Acondicionado – Calderas [En línea].

### Anexo 5. Tamaños de las calderas según BHP.

Con respecto al BHP (Caballos de potencia de calentador), es necesario tener en cuenta que:

Las calderas pirotubulares miden su velocidad en caballos de potencia de caldera (BHP), y esto no debe confundirse con otras medidas de caballos de potencia.

El agua caliente se usa por lo general en aplicaciones de calor en que la caldera provee agua al sistema a 180°F a 220°F. La presión de operación para sistemas de calentamiento de agua caliente usualmente es de 30 psig a 125 psig. (Cleaver-Brooks, 2003, p.8).

En la tabla que prosigue se muestra la velocidad de circulación máxima en galones por minuto (GPM) del agua de la caldera en relación con la salida total de la caldera y la reducción en la temperatura del sistema.

Velocidades de circulación máximas.

TAMAÑO DE LA CALDERA (BHP)	SALIDA DE LA CALDERA (1000) BTU/HR	REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SISTEMA — GRADOS °F									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN MÁXIMA — GPM									
15	500	100	50	33	25	20	17	14	12	11	10
20	670	134	67	45	33	27	22	19	17	15	13
30	1.005	200	100	67	50	40	33	29	25	22	20
40	1.340	268	134	89	67	54	45	38	33	30	27
50	1.675	335	168	112	84	67	56	48	42	37	33
60	2.010	402	201	134	101	80	67	58	50	45	40
70	2.345	470	235	157	118	94	78	67	59	52	47
80	2.680	536	268	179	134	107	90	77	67	60	54
100	3.350	670	335	223	168	134	112	96	84	75	67
125	4.185	836	418	279	209	168	140	120	105	93	84
150	5.025	1.005	503	335	251	201	168	144	126	112	100
200	6.695	1.340	670	447	335	268	224	192	168	149	134
250	8.370	1.675	838	558	419	335	280	240	210	186	167
300	10.045	2.010	1.005	670	503	402	335	287	251	223	201
350	11.720	2.350	1.175	784	587	470	392	336	294	261	235
400	13.400	2.680	1.340	895	670	535	447	383	335	298	268
500	16.740	3.350	1.675	1.120	838	670	558	479	419	372	335
600	20.080	4.020	2.010	1.340	1.005	805	670	575	502	448	402
700	23.430	4.690	2.345	1.565	1.175	940	785	670	585	520	470
800	26.780	5.360	2.680	1.785	1.340	1.075	895	765	670	595	535

Fuente: Cleaver-Brooks (2005). Modelo CB - Caldera tipo Paquete: Manual de operación, servicio y repuestos 15-800 caballos caldera gas, aceite o combinación; p.57.

## Anexo 6. Especificaciones técnicas para calderas.

En lo que prosigue del presente anexo, se presentan tablas que coadyuvaron la selección de la caldera. Dichas tablas aparecen en la investigación de Meléndez (2006) y en catálogo de Tormene Americana S.A. (2007).

**Especificaciones técnicas para calderas**

Caballos de Vapor (B.H.P.)		50	60	70	80	100	150	200	250
Producción de Vapor desde y hasta 212°F (lb/hora)		1,725	2,070	2,415	2,760	3,450	5,200	6,900	8,500
Superficie de calentamiento (pie <sup>2</sup> )		250	300	350	400	500	750	1,000	1,250
Presión máxima de trabajo (lb/pulg <sup>2</sup> )		150	150	150	150	150	150	150	150
Eficiencia		Más del 80%							
Consumo de Petróleo N°4 y N°5 (G.P.H.)		14.0	16.8	19.5	22.3	27.9	41.8	55.8	69.7
Peso del Caldero vacío	(kg)	3,400	3,900	4,100	4,850	5,600	7,500	11,600	13,200
A. Largo Total	(m)	3.00	3.00	3.22	3.40	3.55	4.05	4.70	5.05
B. Ancho Total	(m)	1.60	1.75	1.75	1.78	1.95	2.05	2.25	2.37
C. Altura Total	(m)	1.83	1.96	1.98	2.03	2.13	2.29	2.56	2.72
D. Largo del Caldero	(m)	2.75	2.75	3.00	3.15	3.33	3.78	4.40	4.75
E. Diámetro del Caldero	(m)	1.30	1.47	1.47	1.55	1.65	1.85	2.02	2.17
F. Largo de la Base	(m)	2.03	1.90	2.00	2.36	2.54	3.00	3.30	3.70
G. Ancho de la Base	(m)	1.07	1.12	1.12	1.12	1.22	1.37	1.45	1.80

**Especificaciones técnicas para calderas según rango de BHP**

Caldera BHP	Producción de vapor lb/hr	Carga Termica MMBTU/hr	Potencia de bombeo HP
60 - 150	2070 - 5175	2.01 - 5.02	1
150 - 300	5175 - 10350	5.02 - 10.0	1
<b>300 - 350</b>	<b>10350 - 12075</b>	<b>10.0 - 11.7</b>	<b>1</b>
350 - 400	12075 - 13800	11.7 - 13.4	1.5
400 - 700	13800 - 24150	13.4 - 23.4	1.5

### Anexo 7. Tabla de Vapor de Agua Saturado.

Vapor de Agua Saturado

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm <sup>2</sup>	°C	Litro/kg	m <sup>3</sup> /kg	kg/m <sup>3</sup>	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
0,010	6,7	1,000	131,6	0,007599	6,73	600,2	593,5
0,020	17,2	1,001	68,25	0,01465	17,25	604,9	587,6
0,030	23,7	1,003	46,52	0,02150	23,81	607,8	584,0
0,035	26,4	1,003	40,22	0,02486	26,39	608,9	582,5
0,040	28,6	1,004	35,46	0,02820	28,67	609,8	581,1
0,050	32,6	1,005	28,72	0,03482	32,57	611,5	578,9
0,075	40,0	1,008	19,69	0,05105	39,96	614,7	574,7
0,10	45,5	1,010	14,95	0,06689	45,45	617,0	571,6
0,15	53,6	1,014	10,20	0,09804	53,59	620,5	566,9
0,20	59,7	1,017	7,789	0,1284	59,65	623,1	563,4
0,25	64,6	1,020	6,318	0,1583	64,54	625,0	560,5
0,30	68,7	1,022	5,324	0,1878	68,66	626,8	558,1
0,40	75,4	1,026	4,066	0,2459	75,41	629,5	554,1
0,60	85,4	1,033	2,782	0,3595	85,47	633,5	548,0
0,80	93,0	1,038	2,125	0,4706	93,05	636,4	543,3
1,00	99,1	1,043	1,725	0,5797	99,19	638,8	539,6

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm <sup>2</sup>	°C	Litro/kg	m <sup>3</sup> /kg	kg/m <sup>3</sup>	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
1,50	110,8	1,052	1,181	0,8467	110,99	643,1	532,1
2,00	119,6	1,060	0,9018	1,109	119,94	646,3	526,4
2,50	126,8	1,067	0,7318	1,367	127,2	648,7	521,5
3,00	132,9	1,073	0,6169	1,621	133,4	650,7	517,3
3,50	138,2	1,078	0,5338	1,873	138,9	652,4	513,5
4,00	142,9	1,083	0,4709	2,124	143,7	653,9	510,2
4,60	147,2	1,087	0,4215	2,373	148,1	655,2	507,1
5,00	151,1	1,092	0,3817	2,620	152,1	656,3	504,2
6,00	158,1	1,100	0,3213	3,111	159,3	658,3	498,9
7,00	164,2	1,107	0,2778	3,600	165,7	659,9	494,2
8,00	169,6	1,114	0,2448	4,085	171,4	661,2	489,8
9,00	174,5	1,120	0,2189	4,568	176,5	662,3	485,8
10,0	179,0	1,126	0,1980	5,051	181,3	663,3	482,1
11,0	183,2	1,132	0,1808	5,531	185,7	664,1	478,4
12,0	187,1	1,137	0,1663	6,013	189,8	664,9	475,1
13,0	190,7	1,143	0,1540	6,494	193,6	665,6	472,0
14,0	194,1	1,148	0,1434	6,974	197,3	666,2	468,9
15,0	197,4	1,153	0,1342	7,452	200,7	666,7	465,9
16,0	200,4	1,157	0,1261	7,930	204,0	667,1	463,1
17,0	203,3	1,162	0,1189	8,410	207,2	667,5	460,3
18,0	206,1	1,166	0,1125	8,889	210,2	667,8	457,6
19,0	208,8	1,171	0,1067	9,372	213,1	668,2	455,1

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm <sup>2</sup>	°C	Litro/kg	m <sup>3</sup> /kg	kg/m <sup>3</sup>	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
20,0	211,4	1,175	0,1015	9,852	215,9	668,5	452,6
25,0	222,9	1,195	0,08150	12,27	228,6	669,3	440,7
30,0	232,8	1,214	0,06797	14,71	239,6	669,6	430,0
35,0	241,4	1,232	0,05819	17,18	249,5	669,5	420,0
40,0	249,2	1,249	0,05077	19,70	258,4	669,0	410,6
45,0	256,2	1,266	0,04495	22,25	266,6	668,4	401,8
50,0	262,7	1,282	0,04026	24,84	274,3	667,5	393,2
55,0	268,7	1,299	0,03639	27,48	281,5	666,6	385,1
60,0	274,3	1,315	0,03313	30,18	288,3	665,4	377,1
66,0	279,5	1,331	0,03036	32,94	294,8	664,0	369,2
70,0	284,5	1,347	0,02798	35,74	301,0	662,6	361,6
75,0	289,2	1,363	0,02589	38,63	307,0	661,0	364,0
80,0	293,6	1,379	0,02405	41,58	312,8	659,3	346,5
85,0	297,9	1,395	0,02243	44,58	318,4	657,6	3,,9,2
90,0	301,9	1,412	0,02096	47,71	323,8	655,7	331,9
95,0	306,8	1,428	0,01965	50,89	329,1	653,8	324,7
100,0	309,5	1,445	0,01846	54,17	334,2	651,7	317,5
110,0	316,6	1,480	0,01638	61,05	344,2	647,2	303,0
120,0	323,2	1,517	0,01463	68,35	353,9	642,5	288,6
130,0	329,3	1,557	0,01318	76,16	363,4	637,2	273,8
140,0	335,1	1,600	0,01182	84,60	372,7	631,7	269,0
150,0	340,6	1,644	0,01066	93,81	381,9	625,6	243,7

Presión	Temperatura de saturación	Volumen específico		Densidad vapor saturado y seco	Entalpia del líquido	Entalpia del vapor saturado y seco	Calor latente de vaporización
		Líquido	Vapor saturado				
Kg/cm <sup>2</sup>	°C	Litro/kg	m <sup>3</sup> /kg	kg/m <sup>3</sup>	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
160,0	345,7	1,693	0,009625	103,9	391,1	618,9	227,8
170,0	360,7	1,748	0,008681	115,2	400,4	611,5	211,1
180,0	365,3	1,812	0,007803	128,2	410,1	602,8	192,7
190,0	359,8	1,890	0,00697	143,5	420,4	593,0	172,6
200,0	364,1	1,987	0,00618	161,9	431,3	581,4	150,1
212,0	369,0	2,17	0,00517	193,2	447,6	562,2	114,6
224,0	373,6	2,67	0,00373	268	479	520,7	45,7

**Anexo 8. Tabla de Velocidades Recomendadas para fluidos.**

**Velocidades Recomendadas para fluidos**

<b>VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA VAPOR SATURADO</b>	
<b>Presión [bar]</b>	<b>Velocidad "ω" [m/s]</b>
0 – 1	Hasta 10
1 – 2	10 – 15
2 – 5	15 – 25
5 – 10	25 – 35
10 – 40	35 – 40
>40	Hasta 60
<b>VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA CONDENSADO</b>	
<b>Tubería</b>	<b>Velocidad "ω" [m/s]</b>
Entre el intercambiador de calor y la trampa.	0,5
Tubería de entrada de la bomba del condensador	0,5 – 1
Tubería de salida de la bomba del condensador	1,5 – 2
<b>VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA AGUA</b>	
<b>Tubería</b>	<b>Velocidad "ω" [m/s]</b>
Tubería de entrada de la bomba de agua de refrigeración.	0,7 – 1,5
Tubería de salida de la bomba de agua de refrigeración.	1,3 – 3,5
Tubería de entrada a la bomba de agua de alimentación.	0,5 – 1
Tubería de salida a la bomba de agua de alimentación.	1,5 – 3,5
Agua potable	01 – 02
<b>VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA OTROS FLUIDOS</b>	
<b>Fluido</b>	<b>Velocidad "ω" [m/s]</b>
Vapor flash con condensado.	15 – 20
Vapor sobrecalentado.	50 – 70
Aceites ligeros (succión).	0,3 – 1,2
Aceites ligeros (descarga).	1,2 – 2,4
Aceites viscosos (succión).	0,3 – 0,6
Aceites viscosos (succión).	1 – 1,5

Fuente: Diseño de Plantas Industriales – Referencia 7.

Anexo 9. Dimensiones para Tuberías.

Diámetros de Tuberías - Schedule.

Tamaño de tuberías (mm)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
Schedule 40	15.8	21.0	26.6	35.1	40.0	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	66.5	87.3	109.5	131.6
DIN 2448	17.3	22.3	28.5	37.2	43.1	60.3	70.3	82.5	107.1	131.7	159.3

Valores del coeficiente "y" según la temperatura.

Material/°C	482	510	538	566	593	621	649	677	Material
Ac. Ferrítico <sup>1</sup>	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Ac. Austenítico <sup>2</sup>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	A 312 TP 316 L
Otros metales dúctiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	A106 A, A106 B, A335GrP11
Hierro colado	0,4	---	---	---	---	---	---	---	



Espesores de distintos tubos según la normativa ANSI [mm].

DN (")	DN (mm)	DE (mm)	ANSI Sch 10 Espesor	ANSI Sch 20 Espesor	ANSI Sch 30 Espesor	ANSI Sch 40 Espesor	ANSI Sch 60 Espesor	ANSI Sch 80 Espesor	ANSI Sch 100 Espesor	ANSI Sch 120 Espesor	ANSI Sch 140 Espesor	ANSI Sch 160 Espesor
3/8	10	17,1	-	-	-	2,31	-	3,2	-	-	-	-
1/2	15	21,3	-	-	-	2,77	-	3,73	-	-	-	4,78
3/4	20	26,7	-	-	-	2,87	-	3,91	-	-	-	5,56
1	25	33,4	2,77	-	-	3,38	-	4,55	-	-	-	6,35
1 1/4	32	42,2	2,77	-	-	3,56	-	4,85	-	-	-	6,35
1 1/2	40	48,3	2,77	-	-	3,68	-	5,08	-	-	-	7,14
2	50	60,3	2,77	-	-	3,91	-	5,54	-	-	-	8,74
2 1/2	65	73,0	3,05	-	-	5,16	-	7,01	-	-	-	9,53
3	80	88,9	3,05	-	-	5,49	-	7,62	-	-	-	11,12
4	100	114,3	3,05	-	-	6,02	-	8,56	-	11,13	-	13,49
5	125	141,3	3,4	-	-	6,55	-	9,52	-	12,7	-	15,88
6	150	168,3	3,4	-	-	7,11	-	10,97	-	14,28	-	18,26
8	200	219,1	4,78	6,35	7,04	8,18	10,31	12,7	15,09	18,26	20,62	23,01
10	250	273,0	4,19	6,35	7,8	9,27	12,7	15,09	18,26	21,44	25,4	28,58
12	300	323,8	4,57	6,35	8,38	10,31	14,27	17,48	21,44	25,4	28,58	33,33
14	350	355,6	6,35	7,92	9,52	11,13	15,09	19,05	23,83	27,79	31,75	35,71
16	400	406,4	6,35	7,92	9,52	12,7	16,66	21,44	26,19	30,96	36,53	40,49
20	500	508,0	6,35	9,52	12,7	15,09	20,62	26,19	32,54	38,1	44,45	50,01
24	600	609,6	6,35	9,52	14,27	17,47	24,61	30,96	38,89	46,03	52,37	59,54

Diámetros interiores de distintos tubos según la normativa ANSI [mm].

DN (")	DN (mm)	DE (mm)	ANSI Sch 10		ANSI Sch 20		ANSI Sch 30		ANSI Sch 40		ANSI Sch 60		ANSI Sch 80		ANSI Sch 100		ANSI Sch 120		ANSI Sch 140		ANSI Sch 160		
			Dint		Dint		Dint		Dint		Dint		Dint		Dint		Dint		Dint		Dint		Dint
3/8	10	17,1	-	-	-	-	-	-	12,6	-	-	-	-	10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2	15	21,3	-	-	-	-	-	-	15,8	-	-	-	-	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/4	20	26,7	-	-	-	-	-	-	20,9	-	-	-	-	18,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	25	33,4	-	-	-	-	-	-	26,6	-	-	-	-	24,3	-	-	-	-	-	-	-	-	11,8
1 1/4	32	42,2	28,16	-	-	-	-	-	35	-	-	-	-	32,5	-	-	-	-	-	-	-	-	15,5
1 1/2	40	48,3	42,76	-	-	-	-	-	40,9	-	-	-	-	38,1	-	-	-	-	-	-	-	-	20,7
2	50	60,3	54,76	-	-	-	-	-	52,5	-	-	-	-	49,3	-	-	-	-	-	-	-	-	29,5
2 1/2	65	73,0	70	-	-	-	-	-	62,7	-	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-	-	-	34
3	80	88,9	82,8	-	-	-	-	-	77,9	-	-	-	-	73,7	-	-	-	-	-	-	-	-	42,8
4	100	114,3	108,2	-	-	-	-	-	102,3	-	-	-	-	97,2	-	-	-	-	-	-	-	-	54
5	125	141,3	132,9	-	-	-	-	-	128,2	-	-	-	-	122,2	-	-	-	-	-	-	-	-	66,6
6	150	168,3	161,5	-	-	-	-	-	154,1	-	-	-	-	146,3	-	-	-	-	-	-	-	-	87,3
8	200	219,1	209,54	-	-	-	-	-	202,7	-	-	-	-	193,7	-	-	-	-	-	-	-	-	109,6
10	250	273,0	264,62	206,4	205,02	257,4	205,02	205,02	254,5	198,48	198,48	198,48	198,48	242,9	188,92	188,92	188,92	182,5	177,86	177,86	177,86	131,7	
12	300	323,8	314,76	260,3	257,4	307,14	257,4	257,4	303,2	247,6	247,6	247,6	247,6	288,9	236,48	236,48	236,48	230,2	222,2	222,2	222,2	173,1	
14	350	355,6	342,9	311,2	307,14	336,56	307,14	307,14	333,3	295,36	295,36	295,36	295,36	317,5	281,02	281,02	281,02	273	266,74	266,74	266,74	215,9	
16	400	406,4	393,7	339,76	336,56	387,36	336,56	336,56	381	325,42	325,42	325,42	325,42	363,5	307,94	307,94	307,94	300	292,1	292,1	292,1	257,2	
20	500	508,0	495,3	390,56	387,36	482,6	387,36	387,36	477,8	373,08	373,08	373,08	373,08	455,6	354,02	354,02	354,02	344,5	333,34	333,34	333,34	284,2	
24	600	609,6	596,9	488,96	482,6	581,06	482,6	482,6	574,6	466,76	466,76	466,76	466,76	547,7	442,92	442,92	442,92	431,8	419,1	419,1	419,1	408	
				590,56	581,06		581,06	581,06		560,38	560,38	560,38	560,38		531,82	531,82	531,82	517,6	504,86	504,86	504,86	490,5	

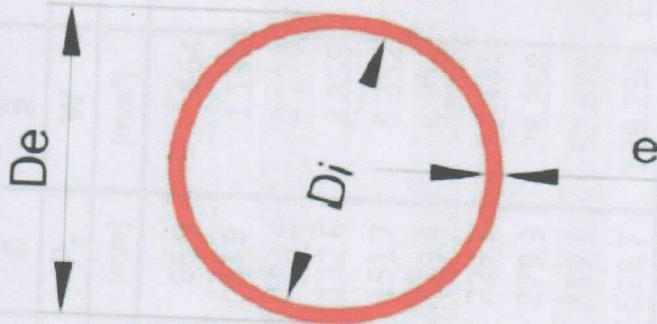
## Anexo 10. Especificaciones Técnicas para Tuberías.

### CAÑERÍAS DE ACERO NORMA ASTM A 53 Grado A y B Schedule 40 (con costura).

Calidad: ASTM A 53 Grade A y B Schedule 40

Largos: 6 [m]

Recubrimientos: negro y galvanizado.



CALIDAD	Tensión mínima de Fluencia, $F_y$	Tensión mínima de Rotura, $F_u$	$F_y/F_u$	Alargamiento
	[MPa]	[MPa]		
ASTM A53 -Gr A	211	337	0,63	36
ASTM A53 -Gr B	246	422	0,58	30

Tabla para seleccionar espesor de tubería

Denominación	Diámetro Exterior		Espesor		Area		Perimetro Exterior		Módulo Resistente		Momento de Inercia		Radio de Giro		Presión de Prueba	
	$\emptyset$	D	e	A	P <sub>r</sub>	W	I	i	Grado A	Grado B						
$\emptyset$ D x P	[mm]	[mm]	[mm]	[mm] <sup>2</sup>	[mm]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm]	[MPa]	[MPa]						
$\emptyset$ 1/2 x 1,266	21,3	2,77	161	66,9	664	7.076	6,62	4,9	4,9							
$\emptyset$ 3/4 x 1,687	26,7	2,87	215	83,9	1.159	15.473	8,49	4,9	4,9							
$\emptyset$ 1 x 2,502	33,4	3,38	319	104,9	2.178	36.365	10,68	4,9	4,9							
$\emptyset$ 1 1/4 x 3,392	42,2	3,56	432	132,6	3.855	81.338	13,72	8,4	9,1							
$\emptyset$ 1 1/2 x 4,049	48,3	3,68	516	151,7	5.352	129.253	15,83	8,4	9,1							
$\emptyset$ 2 x 5,437	60,3	3,91	693	189,4	9.176	276.647	19,98	16,2	17,6							
$\emptyset$ 2 1/2 x 8,633	73,0	5,16	1100	229,3	17.433	636.315	24,05	17,6	17,6							
$\emptyset$ 3 x 11,293	88,9	5,49	1439	279,3	28.268	1.256.504	29,55	15,6	17,6							
$\emptyset$ 4 x 16,075	114,3	6,02	2048	359,1	52.678	3.010.519	38,34	13,4	15,5							
$\emptyset$ 6 x 28,264	168,3	7,11	3600	528,7	139.230	11.716.231	57,04	10,7	12,5							

### Anexo 11. Porcentaje en Peso del Condensado que se convierte en Vapor Flash

Tabla de Porcentaje en Peso del Condensado que se convierte en Vapor Flash.

PRESIÓN PRIMARIA (barg)	PRESIÓN SECUNDARIA (barg)					
	0	0.2	0.5	1	2	4
0.2	0.97					
0.5	2.21	1.25				
1	3.90	2.94	1.71			
2	6.38	5.44	4.22	2.54		
4	9.88	8.96	7.77	6.13	3.65	
6	12.40	11.50	10.33	8.72	6.28	2.70
8	14.44	13.55	12.40	10.81	8.41	4.88
10	16.12	15.24	14.11	12.53	10.17	6.69
12	17.63	16.76	15.63	14.08	11.74	8.30
14	18.95	18.09	16.98	15.44	13.12	9.72
16	20.15	19.30	18.19	16.67	14.37	11.00
18	20.73	19.88	18.78	17.26	14.97	11.62
21	22.76	21.93	20.84	19.35	17.10	13.80

Fuente: SEDITESA S.A.

## Anexo 12. Caudal de Vapor Flash, kg/h

Tabla de Caudal de Vapor Flash, kg/h.

PRESIÓN (barg)	VELOCIDAD (m/s)	DN, mm								
		15	20	25	32	40	50	65	80	100
0.5	5	3	6	9	16	22	36	60	83	139
	10	7	12	19	33	45	72	120	166	279
	20	14	24	39	67	90	144	241	332	559
	25	18	30	49	84	113	181	301	415	699
	30	21	36	59	101	135	217	361	498	839
1	5	4	7	12	22	29	47	78	108	183
	10	9	15	25	44	59	94	157	217	366
	20	19	31	51	88	118	189	315	434	732
	25	23	39	64	110	148	237	394	543	915
	30	28	47	77	132	177	284	473	651	1098
2	5	6	11	18	32	42	69	115	158	267
	10	13	23	37	64	86	138	230	317	535
	20	27	46	75	129	173	277	461	635	1071
	25	34	58	94	161	216	346	576	794	138
	30	41	69	113	193	260	416	692	953	1606
3	5	9	15	24	42	56	90	151	208	350
	10	18	30	49	84	113	181	302	416	701
	20	36	60	99	169	227	363	604	832	1403
	25	45	76	124	211	284	454	755	1040	1754
	30	54	91	149	253	340	545	906	1248	2104
4	5	1	18	30	52	70	112	186	256	432
	10	22	37	61	104	140	224	372	513	865
	20	45	75	122	208	280	448	745	1027	1730
	25	56	93	153	261	350	560	932	1283	2163
	30	67	112	183	313	420	672	1118	1540	2596
5	5	13	22	36	61	83	133	221	304	513
	10	26	44	72	123	166	266	442	609	1027
	20	53	89	145	247	332	532	885	1219	2055
	25	67	111	181	309	416	665	1107	1524	2569
	30	80	133	218	371	499	798	1328	1829	3083

Fuente: SEDITESA S.A.

### Anexo 13. Aislamiento para Tuberías FIBERGLAS.

Los aislantes térmicos para tuberías o aislamientos, por lo general, son fabricados con fibras de vidrio inorgánicas aglutinadas con resina. Se presentan en preformados abisagrados de diferentes dimensiones, por ejemplo, 36 pulgadas (91.4 cm) de largo; y, para su fácil y rápida instalación, sólo se tienen que abrir, colocar sobre la tubería, cerrar y fijar.

Dependiendo de determinadas pruebas, principalmente, de la resistencia a las perforaciones y la transmisión de vapor de agua, se tipifican los tipos de aislamiento para tuberías, destacando los tipos de revestimientos ASJ (All Service Jacket) y FSK (Foil Scrim Kraft). Al respecto, en el caso de aislantes FIBERGLAS, se tiene que las tuberías ASJ y FSK cuentan con una barrera de vapor constituidas por láminas finas de aluminio, foil de aluminio, y papel de madera, papel KRAFT, reforzado con fibra de vidrio. Para la implementación se recomienda usar cinta adhesiva transversal, la cual permitirá lograr un sellado hermético e impedir la entrada de vapores, eliminando así la necesidad de adhesivos o flejes adicionales; pero, a partir de 18" de diámetro, el aislante para tuberías [...] ASJ y FSK viene con una solapa adhesiva. (Owens Corning, 2008).

Por otro lado, con respecto a las propiedades físicas de los aislantes, en el cuadro que prosigue se presenta las propiedades para los aislantes FIBERGLAS

Cuadro A.13.2. Propiedades físicas del aislante FIBERGLAS.

Propiedades Físicas	Método de Prueba	Valor
Límites de temperatura de uso	ASTM C 411	0°F a 850°F (-18°C a 454°C)*
Límites de temperatura de la barrera de vapor	ASTM C 1136	-20°F a 160°F (-29°C a 66°C)
Permeancia del ASJ barrera de vapor	ASTM E 96, Proc. A	0.02 perm.
Resistencia a la perforación	ASTM D 781	50 unidades
Características de combustión superficial	UL 723 o CAN/ULC-S102-M	Propagación de las llamas 25** Desprendimiento de humo 50**

Fuente: Owens Corning (2008). FIBERGLAS: Aislamiento para tubería; p.2.

Asimismo, con respecto a las ventajas de los aislantes FIBERGLAS con respecto a sus pares, en el cuadro que prosigue se detalla dichas ventajas.

**Cuadro A.13.2.** Ventajas de los materiales aislantes FIBERGLAS.

<b>VENTAJA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Máxima eficiencia térmica</b>	Garantiza la menor pérdida de calor del sistema, lo que se traduce en un ahorro en el consumo de energéticos y por consiguiente, se reduce la emisión de contaminantes.
<b>Resistencia a la vibración</b>	El diámetro y la longitud de la fibra, además del tipo de fibrado, hacen que no tenga material no convertido a fibra (0% de shot). Esto impide que el aislamiento se asiente en los equipos sujetos a vibraciones. Al conservar su forma original se garantiza uniformidad en la conductividad térmica y flujo de calor en cualquier lugar.
<b>Baja conductividad térmica</b>	Al tener la más baja conductividad térmica que cualquier otro aislante de su tipo garantiza menores pérdidas de calor y ahorro en combustible, por ello requiere menor espesor aislante, lo que hace que se tenga ahorro en productos de recubrimiento (aluminio, lámina galvanizada, fieltro) y un menor peso muerto en la tubería.
<b>Incombustible</b>	Su naturaleza y componentes no combustibles evitan el riesgo de propagación del fuego, lo que reduce el costo de las primas de los seguros contra incendio.
<b>Fácil de instalar y manejar</b>	No crea hongos ni bacterias, con lo que se evita la aparición de olores y se alarga la vida útil del material.
<b>Dimensionalmente estable</b>	La fibra de vidrio no se expande ni se contrae al estar expuesta a bajas o altas temperaturas, con lo cual se evita la formación de aberturas que permitan la fuga o entrada de calor.
<b>Inorgánico e inodoro</b>	No favorece la formación de hongos, ni bacterias con lo que se evita la aparición de olores y se alarga la vida útil del material.
<b>Resilente</b>	El diámetro y la longitud de la fibra le permiten al material recuperar su forma y espesor siempre y cuando la presión que lo de forma se retire, asegurando su valor R (resistencia térmica).
<b>Bajos costos de operación</b>	Al utilizar un material de alta eficiencia térmica se incrementa la productividad de los equipos, ahorrando mayor energía que se traduce en la baja de costos de operación.
<b>Bajo mantenimiento y larga duración</b>	La fibra de vidrio se caracteriza por su larga duración, por lo que los gastos de mantenimiento son mínimos y la reposición del aislamiento en un sistema bien instalado, es a largo plazo.
<b>Ligero</b>	Es el material más ligero de su tipo en el mercado de los termoaislantes.
<b>No favorece la corrosión</b>	La naturaleza no ferrosa de la fibra de vidrio no favorece la corrosión en acero, cobre y aluminio. Resultado: Mayor vida útil en equipos e instalaciones.
<b>Flexible</b>	El diámetro y la longitud de la fibra, lo vuelve resistente al impacto e irrompible, lo cual le permite conservar sus propiedades inclusive en tuberías sujetas a vibraciones.

Fuente: Owens Corning (2008). FIBERGLAS: Aislamiento para tubería; p.2.

Para finalizar, en el cuadro que prosigue se presenta las características de funcionamiento del aislante FIBERGLAS en función del espesor de las tuberías.



**Cuadro A.13.3. Características de funcionamiento del aislamiento según espesor de las tuberías.**

TEMP. OPERACION		HASTA 65°C (150°F)				HASTA 121°C (250°F)				HASTA 177°C (350°F)				HASTA 232°C (450°F)					
DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.	
pulg.	mm	pulg.	mm	BTU/h.ft	W/m	°C	°F	pulg.	mm	BTU/h.ft	W/m	°C	°F	pulg.	mm	BTU/h.ft	W/m	°C	°F
1/2	12.7	1	25.4	7.44	7.15	28.7	83.6	1	25.4	20.0	19.23	33.8	92.9	1	25.4	36.2	34.80	40	104.0
3/4	19.1	1	25.4	8.95	8.60	29.4	84.9	1	25.4	24.2	23.27	35.4	95.8	1	25.4	43.7	42.01	42.2	108.0
1	25.4	1	25.4	9.28	8.92	28.8	83.9	1	25.4	25.0	24.03	34.2	93.5	1 1/2	38.0	45.2	43.45	40.6	105.0
1 1/2	38.0	1	25.4	12.1	11.63	29.3	84.8	1	25.4	32.5	31.24	35.3	95.6	1 1/2	38.0	46.5	44.70	36.8	98.2
2	51.0	1	25.4	14.1	13.56	29.5	85.1	1	25.4	38.2	36.72	35.8	96.5	1 1/2	38.0	53.0	50.95	37.1	98.7
3	76.0	1	25.4	19.1	18.36	29.9	85.9	1	25.4	51.6	49.61	38.8	98.2	1 1/2	38.0	70.3	67.58	38.3	101.0
4	102.0	1	25.4	22.9	22.02	30.3	86.5	1	25.4	62.1	59.70	37.0	98.6	2	50.8	69.7	67.01	35.7	96.2
6	152.0	1	25.4	33.9	32.59	30.6	87.1	1 1/2	38.0	66.6	64.03	34.3	93.8	2	50.8	94.4	90.75	36.6	97.8
8	203.0	1	25.4	42.3	40.67	30.7	87.3	1 1/2	38.0	80.4	77.29	34.3	93.8	2	50.8	116.0	111.52	37	98.6
10	254.0	1	25.4	54.6	52.49	31.2	88.2	1 1/2	38.0	94.2	90.56	34.2	93.6	2	50.8	137.0	131.71	37.1	98.7
12	304.0	1 1/2	38.0	40.6	39.03	28.9	84.0	1 1/2	38.0	109.0	104.79	34.4	93.9	2	50.8	158.0	151.90	37.3	99.1
14	356.0	1 1/2	38.0	46.8	44.99	29.2	84.6	2	50.8	99.0	95.18	32.8	91.0	2 1/2	63.5	149.0	143.24	35.6	96.1
16	406.0	1 1/2	38.0	52.8	50.76	29.3	84.7	2	50.8	110.0	105.75	32.9	91.2	2 1/2	63.5	167.0	160.55	35.8	96.4
18	457.0	1 1/2	38.0	58.8	56.53	29.1	84.4	2	50.8	124.0	119.21	33.0	91.4	2 1/2	63.5	185.0	177.85	35.9	96.7
20	508.0	1 1/2	38.0	64.9	62.39	29.3	84.8	2	50.8	136.0	130.75	33.1	91.5	2 1/2	63.5	203.0	195.16	36.1	96.9
24	610.0	1 1/2	38.0	76.9	73.93	29.4	84.9	2	50.8	161.0	154.78	33.2	91.7	2 1/2	63.5	239.0	229.77	36.2	97.2
26	660.0	1 1/2	38.0	81.0	77.87	29.3	84.8	2	50.8	170.4	163.82	33.1	91.5	2 1/2	63.5	254.7	244.86	36.2	97.1
28	711.0	1 1/2	38.0	86.9	83.54	29.3	84.8	2	50.8	182.5	175.45	33.1	91.6	2 1/2	63.5	271.5	261.01	36.2	97.2
30	762.0	2	50.8	73.6	70.76	28.4	83.2	2 1/2	63.5	163.0	156.70	31.8	89.2	3	76.0	250.0	240.34	34.7	94.4

Fuente: Owens Corning (2008). FIBERGLAS: Aislamiento para tubería; p.4.

Leyenda:

E.S.: Espesor recomendado.

P.C.: Pérdida de calor.

T.S.: Temperatura de superficie aproximada.

Nota:

- Estos valores son una referencia para cálculos específicos con valores indicados.
- La temperatura ambiente de referencia es de 25°C.