



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

Proyecto de Investigación  
previo a la obtención del título  
de Ingeniero Mecánico.

**Título del Proyecto de Investigación:**

**“DISEÑO DE UN CALDERO PIROTUBULAR A DIÉSEL PARA LOS PEQUEÑOS  
PRODUCTORES DE LÁCTEOS DE LA PARROQUIA PUCAYACU, DEL  
CANTÓN LA MANÁ PROVINCIA DE COTOPAXI, AÑO 2015”**

**Autor:**

**Cesar Ignacio Chunga Pazmiño**

**Director de Proyecto:**

**Ing. Rodolfo Najarro Quintero MSc.**

**Quevedo – Los Ríos - Ecuador.**

**2016**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHO**

Yo **Cesar Ignacio Chunga Pazmiño**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se influyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa de investigación vigente.

---

**Cesar Ignacio Chunga Pazmiño**

## **CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, **Ing. Rodolfo Najarro Quintero, MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el egresado **Cesar Ignacio Chunga Pazmiño**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “Diseño de un caldero Piro-tubular a diésel para los pequeños productores de lácteos de la parroquia Pucayacu, del cantón La maná provincia de Cotopaxi, año 2015”

---

**Ing. Rodolfo Najarro Quintero, MSc.**  
**DIRECTOR**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO DE UN CALDERO PIROTUBULAR A DIÉSEL PARA LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES DE LÁCTEOS DE LA PARROQUIA PUCAYACU, DEL CANTÓN LA MANÁ PROVINCIA DE COTOPAXI, AÑO 2015”**

Presentado al Honorable Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica.

**Aprobado:**

---

Ing. Javier Córdor Velásquez, MSc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE PROYECTO

---

Ing. Milton Peralta Fonseca, MBA.

MIEMBRO DEL T. DE PROYECTO

---

Ing. Robert Moreira Macías, MSc.

MIEMBRO T. DE PROYECTO

**QUEVEDO – ECUADOR**

**2016**

## **AGRADECIMIENTO.**

A Dios por darme la luz de la vida, a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a mi tutor designado, docentes guías quienes, con su paciencia, consejos, enseñanza; sembraron los factores necesarios para superar los retos que se presentaron en el camino del aprendizaje, y ayudaron a ver con claridad que este es el primer paso de mi carrera profesional de los muchos que aún tengo que dar.

A mis hijos y mi esposa por el apoyo brindado, por regalarme esas horas que les correspondían.

A mis padres, por enseñarme lo esencial que es inculcar los principios, valores, moral y fe en la educación.

**CESAR CHUNGA PAZMIÑO**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por darme la vida y permitir llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre y mi padre, por la forma de corregir mis errores, demostrar siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

También dedico este logro a mis hijos por quienes cada día tiene sentido, los testigos silenciosos de mis luchas cotidianas en busca de un mejor futuro, a ellos, mi esperanza, mi alegría, mi vida y la culminación de este trabajo y lo que representa.

A mi esposa y amiga Mariangy, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo.

**CESAR CHUNGA PAZMIÑO**

## **RESUMEN Y PALABRAS CLAVES**

El presente proyecto refiere al diseño de un caldero pirotubular a diésel para los pequeños productores de lácteos para su desarrollo; la ciencia y tecnología son herramientas imprescindibles además de útiles. Un recurso con relevancia dentro del proceso de determinación resultaron ser los métodos de ingeniería, estos brindaron la facilidad para resolver y dar soluciones a la problemática vivida por los productores de lácteos al instante de procesar su materia prima, es de gran importancia para evitar el riesgo de contaminación masiva de los consumidores del producto final elaborado. El proyecto planteado pretende dar solución a dicha problemática mediante el desempeño de los objetivos trazados, comenzando por el diseño del caldero se deberá realizar la correcta elección del tipo y modelo, analizar sus bondades y limitantes. Desplegando el proyecto se desarrolló cálculos de ingeniería, valiéndose de tablas se pudo seleccionar materiales y accesorios, además de verificar presiones y temperaturas ya establecidas. Mediante software se simuló el equipo para corroborar el resultado de los cálculos realizados, comprobando que los materiales y accesorios están aptos para las condiciones de trabajo requeridas. Por medio de un presupuesto se determinó el costo del equipo frente a uno similar de origen extranjero. Para concluir se planteó algunas recomendaciones y se estructuró un procedimiento de operación (Puesta en marcha y parada del caldero).

Termodinámica – Presión – Temperatura – Pasteurización - Vapor

## **SUMMARY AND KEY WORDS**

This concept refers to the design of a diesel fire tube boiler for small dairy farmers, for development of science and technology are essential tools as well as useful. An important resource in the process of determining proved engineering methods, these provided the facility to resolve and provide solutions to the problems experienced by dairy producers instantly process your raw material, which is of great importance to avoid the risk of massive contamination of the final product consumers elaborate. The proposed project aims to address this problem by performing the goals, starting with the design of the cauldron which should make the correct choice of type and model, analyze its benefits and limitations. Deploying the project engineering calculations developed, using tables could select materials and accessories, in addition to checking pressures and temperatures already established. Using simulated computer software to corroborate the results of the calculations, checking materials and accessories are suitable for the conditions of work required. Through a budget the cost of equipment compared to the same one of foreign origin was determined. To conclude some recommendations was raised and an operating procedure (Start and stop) was structured.

Thermodynamics - Pressure - Temperature - Pasteurization - Steam

# ÍNDICE GENERAL

|   |          |
|---|----------|
| Portada.....  | i        |
| Declaración de autoría y cesión de derecho .....              | ii       |
| Certificación del director del proyecto de investigación..... | iii      |
| Universidad Técnica Estatal De Quevedo .....                  | iv       |
| Agradecimiento .....  | v        |
| Dedicatoria .....   | vi       |
| Resumen y palabras claves.....                                | vii      |
| Summary and key words .....                                   | viii     |
| Índice general .....  | ix       |
| Índice de figuras .....                                       | xiii     |
| Índice de tablas .....  | xv       |
| Código dublin .....   | xviii    |
| Introducción .....  | 1        |
| <b>Capítulo I Contextualización de la Investigación .....</b> | <b>3</b> |
| 1.1 Problema de investigación.....                            | 4        |
| 1.1.1 Planteamiento del problema. ....                        | 4        |
| 1.1.2 Diagnóstico.....  | 4        |
| 1.1.3 Pronóstico.....   | 5        |
| 1.1.4 Formulación del problema.....                           | 5        |
| 1.1.5 Sistematización del problema.....                       | 5        |
| 1.2 Objetivos.....  | 6        |
| 1.2.1 Objetivo general. ....                                  | 6        |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....                              | 6        |
| 1.3 Justificación.....  | 6        |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Capítulo II</b> | <b>Fundamentación teórica de la investigación</b> .....         | 8  |
| 2.1                | Marco conceptual. ....  | 9  |
| 2.1.1              | Calderas. ....  | 9  |
| 2.1.1.1            | Historia. ....  | 9  |
| 2.1.1.2            | Definición. ....  | 11 |
| 2.1.1.3            | Principios de funcionamiento. ....                              | 11 |
| 2.1.2              | Clasificación de las calderas. ....                             | 12 |
| 2.1.2.1            | Tipos de calderas según su uso. ....                            | 12 |
| 2.1.2.2            | Tipos de calderas según su presión. ....                        | 14 |
| 2.1.2.3            | Tipos de calderas según el material del cual está erigida. .... | 15 |
| 2.1.2.4            | Tipos de calderas según la disposición de los fluidos. ....     | 16 |
| 2.1.2.5            | Tipos de calderas según la posición y forma de los tubos. ....  | 17 |
| 2.1.2.6            | Tipos de calderas según su funcionamiento. ....                 | 17 |
| 2.1.2.7            | Tipos de calderas según forma de circulación de fluidos. ....   | 17 |
| 2.1.2.8            | Tipos de calderas según la posición del hogar. ....             | 17 |
| 2.1.2.9            | Tipos de calderas según la fuente de calor. ....                | 18 |
| 2.1.2.10           | Tipos de Calderas Según el Combustible. ....                    | 18 |
| 2.1.3              | Partes Constitutivas. ....                                      | 19 |
| 2.1.4              | Componentes de seguridad de una caldera. ....                   | 20 |
| 2.1.5              | Aplicaciones del Vapor. ....                                    | 22 |
| 2.1.5.1            | Vapor para Calentamiento. ....                                  | 23 |
| 2.1.5.2            | Vapor al Vacío. ....  | 24 |
| 2.1.5.3            | Vapor para Humidificación. ....                                 | 25 |
| 2.1.6              | Agua para calderas. ....  | 26 |
| 2.1.7              | Propiedades de la leche. ....                                   | 28 |
| 2.1.8              | Proceso de Pasteurización de Leche. ....                        | 31 |
| 2.2                | Marco referencial. ....   | 34 |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| 2.2.1               | Presión. ....                                | 34        |
| 2.2.2               | Temperatura.....                             | 34        |
| 2.2.3               | Medidas de temperatura.....                  | 35        |
| 2.2.4               | Líquido comprimido y líquido saturado. ....  | 36        |
| 2.2.5               | Vapor saturado y vapor sobrecalentado.....   | 37        |
| 2.2.6               | Flujo Másico. ....                           | 38        |
| 2.2.7               | Tensión. ....                                | 38        |
| 2.2.8               | Compresión.....                              | 38        |
| 2.2.9               | Potencia. ....                               | 39        |
| <b>Capítulo III</b> | <b>Metodología de la investigación</b> ..... | <b>40</b> |
| 3.1                 | Localización.....                            | 41        |
| 3.2                 | Tipos de investigación. ....                 | 41        |
| 3.2.1               | Investigación bibliográfica. ....            | 41        |
| 3.2.2               | Investigación descriptiva. ....              | 42        |
| 3.3                 | Métodos de investigación. ....               | 42        |
| 3.3.1               | Método analítico. ....                       | 42        |
| 3.3.2               | Método deductivo. ....                       | 42        |
| 3.3.3               | Método inductivo.....                        | 42        |
| 3.4                 | Fuentes de recopilación de información. .... | 42        |
| 3.5                 | Diseño de la investigación. ....             | 43        |
| 3.6                 | Instrumentos de investigación. ....          | 43        |
| 3.7                 | Tratamiento de los datos. ....               | 43        |
| 3.8                 | Recursos humanos y materiales.....           | 44        |
| 3.8.1               | Equipo humano.....                           | 44        |
| 3.8.2               | Materiales de oficina. ....                  | 45        |
| 3.8.3               | Equipo de Oficina.....                       | 45        |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| <b>Capítulo IV</b>  | <b>Resultados y discusión.....</b>   | <b>46</b> |
| 4.1                 | Resultados.....  | 47        |
| 4.1.1               | Cálculos de un caldero pirotubular horizontal de tres pasos. ....  | 47        |
| 4.1.2               | Obtención de datos en tablas termodinámicas.....   | 48        |
| 4.1.3               | Potencia del Caldero (Potencia de trabajo).....  | 48        |
| 4.1.4               | Cálculo del flujo másico del vapor (Real). ....  | 49        |
| 4.1.5               | Dimensionamiento de los tubos de humo.....   | 50        |
| 4.1.6               | Dimensionamiento del espejo, coraza, hogar y cota de vapor.....  | 54        |
| 4.1.7               | Cálculo del volumen de acumulación de vapor.....   | 58        |
| 4.1.8               | Dimensionamiento del tanque de abastecimiento de agua. ....  | 60        |
| 4.1.9               | Análisis del flujo en la tubería de alimentación de agua desde el tanque hasta la caldera, según Reynolds . .... | 62        |
| 4.1.10              | Selección de la bomba de agua.....   | 64        |
| 4.1.11              | Selección del quemador a diésel.....   | 64        |
| 4.1.12              | Selección de los elementos de accionamiento y seguridad. ....  | 65        |
| 4.1.13              | Simulación del Equipo. ....  | 66        |
| 4.1.14              | Procedimiento de operación de la caldera. ....   | 80        |
| 4.2                 | Discusión. ....  | 82        |
| 4.2.1               | Elección del tipo de caldero a diseñar .....   | 82        |
| 4.2.2               | Materiales y componentes de seguridad.....   | 83        |
| <b>Capítulo V</b>   | <b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>  | <b>84</b> |
| 5.1                 | Conclusiones.....  | 85        |
| 5.2                 | Recomendaciones. ....  | 86        |
| <b>Capítulo VI</b>  | <b>Bibliografía.....</b>   | <b>87</b> |
| <b>Capítulo VII</b> | <b>Anexos.....</b>   | <b>90</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1. Caldera Haystack. ....  | 10            |
| 2. Calderas Antiguas.....  | 10            |
| 3. Calderas portátiles. ....   | 13            |
| 4. Caldera para calefacción.....                                       | 13            |
| 5. Caldera de hierro fundido .....                                     | 15            |
| 6. Calderas de acero.....  | 15            |
| 7. Generadores de vapor .....  | 16            |
| 8. Caldera de hogar interno.....                                       | 17            |
| 9. Caldera de hogar externo .....                                      | 18            |
| 10. Partes principales de una caldera.....                             | 19            |
| 11. Válvulas de seguridad.....   | 20            |
| 12. Fococelda .....  | 20            |
| 13. Presostato Honeywell .....   | 21            |
| 14. Control de nivel (flotador).....                                   | 21            |
| 15. Alarma visual y sonora.....  | 22            |
| 16. Intercambiador de tubos y coraza.....                              | 23            |
| 17. Calentamiento con Calor (Vapor) Latente.....                       | 24            |
| 18. Humidificador de Vapor en Ductos de Aire.....                      | 25            |
| 19. Marmita .....  | 32            |
| 20. Intercambiador de placas.....                                      | 33            |
| 21. Diagramas VvsT, TvsP.....  | 35            |
| 22. Escalas de temperatura .....                                       | 36            |
| 23. Diagrama V vs P (liquido/ vapor) .....                             | 37            |
| 24. Tensión o tracción .....   | 38            |
| 25. Compresión.....  | 38            |
| 26. Distribución de los Tubos en el espejo del caldero. ....           | 52            |
| 27. Demostración AutoCAD .....   | 56            |
| 28. Espejo del caldero.....  | 60            |
| 29. Diagrama para determinar la potencia de una bomba centrifuga. .... | 97            |
| 30. Cuerpo del caldero con cargas aplicadas.....                       | 66            |

|  |    |
|--|----|
| 31. Resultado del análisis de pandeo en el cuerpo del caldero..... | 67 |
| 32. Espejo del caldero 3D.....                                     | 70 |
| 33. Recubrimiento térmico del caldero.....                         | 72 |
| 34. Chaqueta externa del caldero.....                              | 74 |
| 35. Hogar del caldero.....   | 76 |
| 36. Tubo de humo.....  | 78 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>Tabla</b>  | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1. Parámetros de agua para alimentación de calderas 1 según BS 2486. ....   | 27            |
| 2. Parámetros de agua para alimentación de calderas 2 según BS 2486. ....   | 27            |
| 3. Información Nutricional. ....  | 29            |
| 4. Datos técnicos a emplearse en el diseño.....                             | 47            |
| 5. Propiedades del Agua saturada.....                                       | 48            |
| 6. Potencia del caldero.....  | 49            |
| 7. Características técnicas tubería ced 40, ASTM A53 Ø 1,5” . ....          | 50            |
| 8. Resultados del dimensionamiento de los tubos de humo. ....               | 53            |
| 9. Lamina de acero Naval, norma ASTM A131.....                              | 54            |
| 10. Datos de espejo y coraza. ....  | 56            |
| 11. Esfuerzo admisible tubería ced.40 ASTM A53 Ø12” . ....                  | 57            |
| 12. Requerimientos de Cálculo.....  | 60            |
| 13. Datos previos al análisis de flujo.....                                 | 63            |
| 14. Datos para selección de bomba en diagrama (Conversión de unidades)..... | 64            |
| 15. Datos técnicos de la caldera diseñada.....                              | 66            |
| 16. Propiedades mecánicas del material para la coraza del caldero. ....     | 67            |
| 17. Propiedades térmicas del acero para la coraza del caldero.....          | 68            |
| 18. Cargas térmicas aplicadas a la coraza del caldero.....                  | 69            |
| 19. Resultado del análisis térmico en el cuerpo del caldero.....            | 69            |
| 20. Propiedades mecánicas del material de los espejos del caldero. ....     | 70            |
| 21. Cargas aplicadas a los espejos del caldero. ....                        | 71            |
| 22. Resultado del análisis de pandeo en los espejos del caldero. ....       | 71            |
| 23. Propiedades térmicas del material aislante. ....                        | 72            |
| 24. Cargas térmicas aplicadas al aislante de calor.....                     | 73            |
| 25. Resultado del análisis térmico del aislante del caldero. ....           | 73            |
| 26. Propiedades térmicas de la chaqueta externa del caldero.....            | 74            |
| 27. Cargas térmicas aplicadas a la chaqueta externa del caldero. ....       | 75            |
| 28. Resultado del análisis térmico a la chaqueta exterior del caldero. .... | 75            |
| 29. Propiedades térmicas del material para el hogar. ....                   | 76            |
| 30. Cargas térmicas aplicadas al hogar del caldero. ....                    | 77            |

|   |    |
|---|----|
| 31. Resultado del análisis de pandeo aplicado al hogar del caldero..... | 77 |
| 32. Propiedades mecánicas de los tubos de fuego. ....                   | 78 |
| 33. Cargas aplicadas a los tubos de fuego del caldero.....              | 79 |
| 34. Resultado del análisis de pandeo en los tubos de humo. ....         | 79 |
| 35. Elección de un caldero.....   | 82 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| <b>Anexo</b>  | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1. Mapa de ubicación de la parroquia Pucayacu. ....                       | 91            |
| 2. Datos técnicos marmita. ....   | 92            |
| 3. Diagrama esfuerzo vs deformación. ....                                 | 93            |
| 4. Tabla A-4 agua saturada. ....  | 94            |
| 5. Tabla de viscosidades. ....  | 95            |
| 6. Tabla A- 5 agua saturada. ....   | 96            |
| 7. Diagrama para determinar la potencia de una bomba centrífuga. ....     | 97            |
| 8. Modelos y características técnicas de bombas centrífugas Pedrollo .... | 97            |
| 9. Quemadores a diésel marca Riello. ....                                 | 98            |
| 10. Selección de válvula de seguridad. ....                               | 98            |
| 11. Modelos de presostato Honeywell. ....                                 | 99            |
| 12. Control de Nivel de agua. ....  | 99            |
| 13. Tabla de láminas de acero naval. ....                                 | 100           |
| 14. Tabla de tuberías. ....   | 101           |
| 15. Presupuesto. ....   | 102           |
| 16. Caldero 3D. ....  | 103           |
| 17. Caldero vista lateral. ....   | 104           |
| 18. Caldero vista interna. ....   | 104           |
| 19. Espejo vista 3D. ....   | 105           |
| 20. Tabulación de la entrevista. ....                                     | 105           |

## CÓDIGO DUBLIN

|                        |   |         |             |       |                |
|------------------------|---|---------|-------------|-------|----------------|
| <b>Título</b>          | Diseño de un caldero Piro tubular a diésel para los pequeños productores de lácteos de la parroquia Pucayacu, del cantón La maná provincia de Cotopaxi, año 2015.   |         |             |       |                |
| <b>Autor</b>           | Cesar Ignacio Chunga Pazmiño  |         |             |       |                |
| <b>Palabras claves</b> | Termodinámica   | Presión | Temperatura | Vapor | Pasteurización |
| <b>F. Publica.</b>     |   |         |             |       |                |
| <b>Editorial</b>       | Quevedo: UTEQ, 2015   |         |             |       |                |
| <b>Resumen</b>         | <p><b>RESUMEN</b> La presente idea refiere al diseño de un caldero piro tubular a diésel para los pequeños productores de lácteos, para su desarrollo la ciencia y tecnología son herramientas imprescindibles además de útiles. Un recurso con relevancia dentro del proceso de determinación resultaron ser los métodos de ingeniería, estos brindaron la facilidad para resolver y dar soluciones a la problemática vivida por los productores de lácteos al instante de procesar su materia prima, lo cual es de gran importancia para evitar el riesgo de contaminación masiva de los consumidores del producto final elaborado. El proyecto planteado pretende dar solución a dicha problemática mediante el desempeño de los objetivos trazados, comenzando por el diseño del caldero para lo cual se deberá realizar la correcta elección del tipo y modelo, analizar sus bondades y limitantes.</p> <p><b>SUMMARY:</b> This concept refers to the design of a diesel fire tube boiler for small dairy farmers, for development of science and technology are essential tools as well as useful. An important resource in the process of determining proved engineering methods, these provided the facility to resolve and provide solutions to the problems experienced by dairy producers instantly process your raw material, which is of great importance to avoid the risk of massive contamination of the final product consumers elaborate. The proposed project aims to address this problem by performing the goals, starting with the design of the cauldron which should make the correct choice of type and model, analyze its benefits and limitations.</p> |         |             |       |                |
| <b>Descripción</b>     | FORMATO: A4 29 cm x 21cm  |         |             |       |                |
| <b>URI</b>             |   |         |             |       |                |

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador es uno de los países latinos en proceso de desarrollo, dentro de los cambios para alcanzar el desarrollo industrial, está el reemplazar lo artesanal o cotidiano, por tecnología y equipos que permitan ser eficientes y competitivos a nivel nacional, con visión y metas de alcanzar mercados internacionales, razón suficiente para llevar a cabo el presente diseño.

Con la implementación de este equipo, la materia prima y el área de producción estará libre de gases contaminantes y los pequeños productores podrán comercializar sus derivados sin impedimento alguno en los diferentes sitios de abasto de productos para el consumo humano, ya que es uno de los requisitos para la obtención de un certificado de producción que otorga AGROCALIDAD; además se evoluciona la industria nacional.

El presente proyecto “Diseño de un caldero Piro tubular a Diésel para los pequeños productores de lácteos”, refiere al diseño para posteriormente llevar a la manufactura de un equipo generador de vapor que permita a los pequeños productores de lácteos procesar su materia prima de manera segura e higiénica.

La investigación se realiza en las instalaciones de la “Asociación de Lecheros “La Mana” cuya sede está ubicada en la parroquia Guasaganda, donde se investigaron los problemas y necesidades que demanda el proceso de lácteos y los equipos necesarios para el proceso. En la actualidad El Gobierno Nacional a través de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro AGRO-CALIDAD fiscaliza los diferentes productos provenientes del agro, con el propósito de que estos no pongan en riesgo la salud del consumidor final.

Se realizaron reuniones en la asociación para indagar cuál es el alcance económico que tienen, y a su vez una investigación minuciosa en el tema de calderas: tipos, formas, capacidades de producción de vapor y las diferentes opciones para incrementar su eficiencia, utilizando textos e información en la red.

Al tener definido todos los parámetros se realizaron los cálculos respectivos tomando en cuenta factores de seguridad y normativas pertinentes para el diseño.

Con el uso de software se establecieron las medidas reales de diseño del equipo para cuantificar la cantidad de material y su costo, determinar el proceso de construcción, procedimiento de soldadura, procedimientos de montaje, entre otros.

Para concluir, se establecieron los procedimientos de operación paso a paso, con los cuales se iniciará y parará el equipo evitando riesgos para el operador y daños en el equipo, con el objetivo de prolongar su vida útil.

# **CAPÍTULO I**

## **CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1 Problema de investigación.**

### **1.1.1 Planteamiento del problema.**

La parroquia Pucayacu del cantón La Mana, provincia de Cotopaxi, zona ganadera destacada por su gran producción de leche, mayor fuente de ingresos para sus habitantes, alberga un número considerable de artesanos, los cuales elaboran derivados de lácteos como queso y yogurt, estos en la actualidad no cuentan con un equipo que permita procesar la materia prima para que esté libre de bacterias, de forma que esta no se contamine, puesto que se lo realiza mediante quemadores a gas de forma directa al recipiente que contiene el producto; el gas licuado de petróleo genera gases contaminantes y esto crea riesgos de salud para el consumidor final y riesgos de accidentes para los obreros dentro de la planta de procesos.

Al incrementar su producción, incrementarían los riesgos, razón por la cual se pretende reemplazar los quemadores de gas por un sistema que no involucre emanación de gases contaminantes al interior de la planta de procesos, además de optimizar el tiempo en la elaboración de los productos ya que se podrá realizar intercambio de calor en la parte inferior y paredes del recipiente y no solo en la parte inferior como en la actualidad.

La falta del equipo generador de vapor adecuado, eficiente, a bajo costo; que dé una solución al proceso de pasteurizado, conllevan al desarrollo de un diseño novedoso basado en los principios básicos de transferencia de calor y optimizándolos al máximo sin dejar a un lado normativas internacionales de seguridad.

### **1.1.2 Diagnóstico.**

El gas licuado del petróleo es un combustible de alto riesgo, para usos industriales se debe cumplir con normas, equipos, almacenamiento, etc. que disponga el Ministerio de Energía. En el caso de los pequeños productores de lácteos esta normativa no se cumple, razón por la cual están latentes los riesgos de explosión e incendio. Por otro lado, está la emanación de dióxido y monóxido de carbono que genera el gas al quemarse, esto ocasiona la contaminación de la materia prima ya que la combustión se produce en el interior de la planta de procesos, al contrario de esta práctica, el caldero se ubica fuera del área de procesos y el

vapor generado por este ingresa al interior de la planta por medio de tuberías, y mediante un proceso de convección se transfiere el calor necesario al producto.

### **1.1.3 Pronóstico.**

Al paso del tiempo, la calidad y confianza de los productos que los artesanos o pequeños productores de lácteos ofrecen al consumidor no tendrá credibilidad, puesto que los grandes industriales realizan bombardeos de marketing a sus productos y siembran ideas al cliente sobre el proceso de elaboración con el fin de promover su adquisición. Esto bajará sus índices de ventas notoriamente ya que no tendrán en que sustentar la calidad de su producto (materia prima pasteurizada libre de contaminación), la economía y el desarrollo de esta zona se verán afectados, obligándolos a dejar de producir de manera independiente y pasar a ser únicamente proveedores de las grandes industrias lácteas.

### **1.1.4 Formulación del problema.**

La necesidad de adquirir un equipo eficiente, práctico y de construcción sencilla, a bajo costo, con todas las seguridades necesarias, de construcción nacional, para la implementación en una planta de lácteos a pequeña escala. Capaz de generar vapor suficiente para transferir calor por convección a la materia prima (leche) con la finalidad de eliminar microorganismos, sin que esta se contamine y que sus productos derivados sean de gran confianza para la salud del consumidor.

### **1.1.5 Sistematización del problema.**

¿Cómo lograr minimizar agentes contaminantes<sup>1</sup> productos de una combustión dentro de una planta de lácteos?

¿Cómo diseñar un equipo que genere vapor, cuyo costo sea mínimo y su rendimiento al momento de transferir calor sea el máximo posible?

---

<sup>1</sup> Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono

## **1.2 Objetivos.**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Diseñar un caldero Piro tubular a diésel para los pequeños productores de lácteos de la parroquia Pucayacu.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

- Diseñar el caldero Piro tubular.
- Seleccionar el material y los respectivos elementos de accionamiento y seguridad.
- Crear un procedimiento de puesta en marcha -parada para la operación del caldero.

## **1.3 Justificación.**

La implementación de este equipo, contribuirá al incremento de puestos de trabajo, con seguridad en cada uno de ellos; impulsará u obligará a la competencia a enrumbarse con el mismo enfoque lo cual conlleva a la transformación y desarrollo productivo de la zona y del país, estando dentro del enfoque futurista que busca el actual Gobierno.

La necesidad de eliminar bacterias en los productos de consumo masivo, se refleja en la pasteurización de los productos lácteos y que mejor realizarlo de manera correcta, con vapor indirecto sin riesgos de contaminación por gases producidos al utilizar fuego directo; además de cuidar de la salud y minimizar riesgos a los trabajadores de la planta ya que el equipo se situará en las afueras de la planta y únicamente ingresará el vapor por medio de tuberías.

El vapor generado por un caldero se encuentra a altas temperaturas, lo cual es favorable para eliminar gérmenes, hongos y bacterias, razón por la cual es utilizado también para la desinfección de los útiles e inmediaciones de la planta.

Hasta la actualidad el Gobierno Ecuatoriano subsidia el gas licuado de petróleo, pero solo para el uso doméstico en cocción de alimentos mas no para industrialización de productos, por ende, se estará cumpliendo con el uso del combustible permitido para estos fines, el cual será Diésel.

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1 Marco conceptual.**

### **2.1.1 Calderas.**

#### **2.1.1.1 Historia.**

La historia de las calderas no tiene un principio claro. Desde la antigüedad se trató de emplear la fuerza del vapor, al inicio únicamente se aprovechaba las propiedades de su condensación, la cual en realidad era la presión atmosférica la cual hacía el trabajo de presión al condensarse el vapor. Hasta finales del siglo 18, las calderas eran de baja presión (apenas 3 a 4 libras por pulgadas o sea 200-300 gramos por centímetro cuadrado o 2-3 metros de columna de agua), y lo que hacían era desalojar el aire con el vapor, para luego proceder a enfriar el vapor, este generaba un vacío al condensarse dando lugar al movimiento de un émbolo o pistón.

Una limitante era la falta de conocimientos y materiales razón por la cual empleaban en la construcción láminas de cobre, latón, fundición de hierro, madera, de tal modo que al hacer la unión estanca entre las planchas que formaban la caldera, había pérdidas excesivas, las cuales eran selladas con una mezcla de cartón o algo similar, además tenían que poner en el agua elementos que sirvan de sello entre las juntas.

Era tanto el riesgo y la ineficiencia (el aprovechamiento del calor) de estas calderas, fabricadas más por herreros que por mecánicos o talleres especializados, que morían muchas personas en su operación. [1]

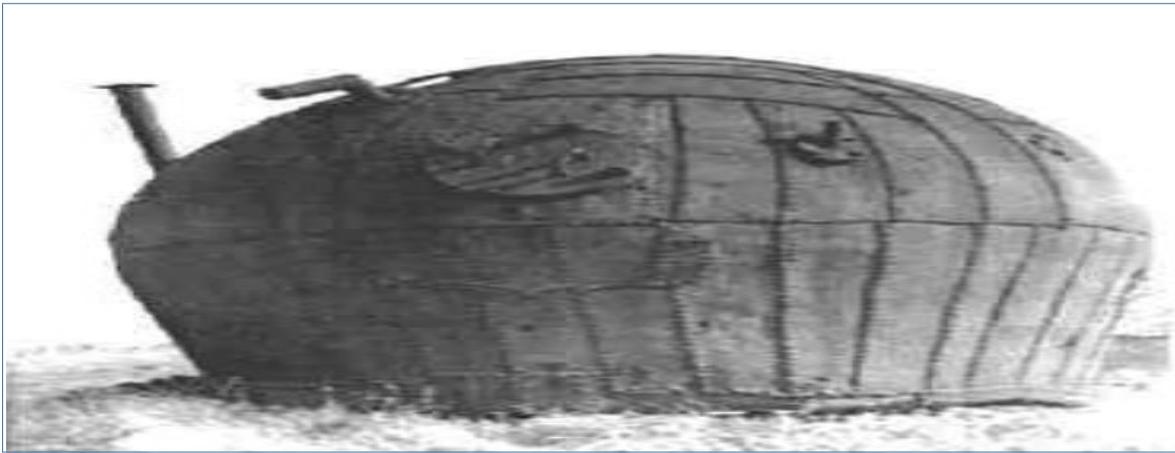
Con la aparición del hierro como chapa (la fundición de hierro ya existía, pero el hierro "purificado" todavía no, el cual se podía trabajar mecánicamente) en "planchas" forjadas, y con la necesidad de energía de operación en las minas y en las fábricas, fueron apareciendo las primeras calderas con cierto sentido para aprovechamiento del calor y con ciertos criterios de seguridad.

Las actuales calderas fueron naciendo con los comienzos de la era "industrial", en los países europeos, especialmente en Gran Bretaña, Alemania, etc., y en Estados Unidos.

Los esfuerzos por convertir la energía del calor en energía mecánica para sustituir la energía de los hombres, los animales, el viento, el agua eran permanente objetivo de los hombres.

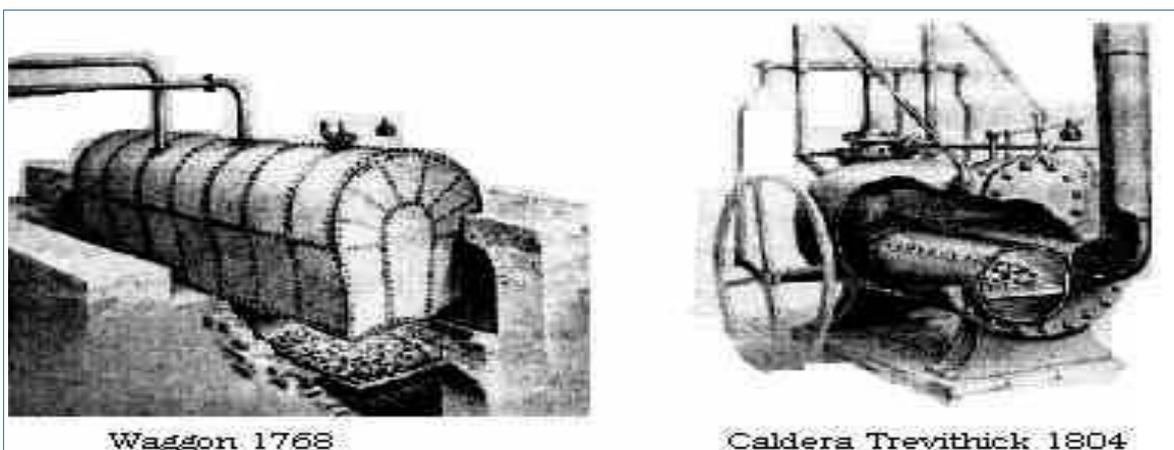
Primero, en tierra firme, especialmente en las minas, luego en la industria y los ferrocarriles, en las cosechadoras, etc., dio paso al uso naval de esta nueva fuerza aprovechable. Quizás la primera caldera humo-tubular que tenía estos principios fue la de Trevithick en 1804. [1]

Figura 1. Caldera Haystack.



Fuente: Pequeño manual del foguista<sup>2</sup>

Figura 2. Calderas Antiguas.



Fuente: Pequeño manual del foguista<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Fotografía tomada en 1938 es de una caldera Haystack (encontrada en G. Bretaña), la cual nos da una clara idea de cómo fueron las primeras calderas y cuanto han evolucionado.

<sup>3</sup> Cambios sufridos en el diseño de calderas.

Al comparar la caldera del Sr, Trevithick de 1804 con una Waggon de 1768, evidentemente no tienen "nada que ver". Mejorando la calidad de los materiales, el diseño, los elementos de seguridad, la operación etc....en el siglo 19 será el gran siglo de las calderas, con las máquinas alternativas de vapor, ya que los motores de combustión interna recién aparecerán a fin del siglo y comienzos del siglo 20. A fines del siglo 19 y principios del siglo 20, aparecerán las turbinas a vapor, moverán las grandes usinas y los barcos a vapor. [1, 2]

### **2.1.1.2 Definición.**

A un recipiente cerrado sometido a presión, en el cual se calienta un fluido por acción de llama directa, llamamos caldera. Del fluido calentado en esta, se aprovecha su energía calórica, para ser utilizada en diferentes fines en la industria. [3]

### **2.1.1.3 Principios de funcionamiento.**

El agua que abastece a la caldera se almacena en un tanque o cámara de agua, con un volumen requerido para la demanda, una válvula controla el nivel por medio de un flotador en cual acciona un micro switch, manteniendo el tanque siempre con agua, el agua empujada al interior de la caldera al interior de tuberías proviene de una bomba de alta presión, una llama proveniente del quemador nos provee combustión en el hogar, este a su vez es controlado automáticamente para ser accionado cuando sea necesario. La llama se distribuye a las tuberías, donde la energía térmica liberada producto de la combustión se trasfiere al agua implícita en los tubos.

Dos diseños mayormente utilizados de calderas son Acuotubulares y Pirotubulares, en estos intervienen los procesos de radiación, conducción y convección para la transformación del agua en vapor, dicho vapor es conducido por tuberías a los puntos de uso o puede ser colectado en cámaras para su distribución; en la parte superior de la caldera se sitúa un conducto el cual traslada hacia el exterior los gases de combustión; mientras que en la parte inferior se encuentra una válvula para la evacuación de lodos y otras enjundias indeseables al interior de la caldera, las cuales son evacuadas por medio de purgas periódicas realizadas por el operador, a estas purgas las conocemos con el nombre de “purgas de fondo”.

En la caldera existen variados controles de seguridad para el alivio de la presión en caso que esta se incremente de manera imprudente, para apagar el quemador si el nivel de agua al interior de la caldera está por debajo de lo establecido o para automatizar el accionamiento de la bomba para mantener el nivel del agua. [4]

### **2.1.2 Clasificación de las calderas.**

Generalmente las calderas se clasifican de varias maneras, en este proceso las clasificamos por las siguientes peculiaridades:

1. Según su uso
2. Presión
3. Material del cual está Construida
4. Disposición de Fluidos
5. Posición y forma del tubo
6. Tipo de funcionamiento
7. Forma de circulación del fluido
8. Posición del hogar
9. Fuente de calor
10. Combustible que usa [3]

#### **2.1.2.1 Tipos de calderas según su uso.**

De la caldera de coraza simple cilíndrica, se ha obtenido varios tipos de unidades de generación de vapor. Unas se diseñaron para fines de calentamiento o concepción de potencia, se las clasifica en:

- **Calderas portátiles.**

Mayormente utilizadas en locomotoras, similares se utilizaba en petroleras y aserraderos, generadores de vapor miniatura; las calderas “firebox” son designadas con el nombre de portátiles.

Figura 3. Calderas portátiles.



Fuente: [www.desforsa.com](http://www.desforsa.com)

- **Comerciales o residenciales.**

Utilizadas como calentador en temperaturas frías. [3]

Figura 4. Caldera para calefacción.



Fuente: [www.calderascalefaccionycalentadoressolares.com](http://www.calderascalefaccionycalentadoressolares.com)

### **2.1.2.2 Tipos de calderas según su presión.**

- **Calderas estacionarias.**

La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos “Código de Calderas y Tanques a Presión”, norma la construcción estas calderas para tener un mayor grado de seguridad.

Este código las diferencias de la siguiente manera:

- **Calderas de calentamiento de baja presión.**

Son operadas a presiones que no excedan 15 libras/pulgada<sup>2</sup> (psi) de vapor, o presiones que no sobrepasen las 160 libras/pulgada<sup>2</sup> (psi) y la temperatura del agua que no exceda los 2500 °F, según los requisitos de la sección IV CCTP - ASME.

- **Calderas de potencia (poder).**

El vapor o agua caliente es concebido a una presión de más de quince (15) libras/pulgada<sup>2</sup> (psi) a ser manejado exteriormente, y la cual excede los límites establecidos para calderas de baja presión y calderas miniatura; definido en la Sección I CCTP – ASME. [3]

- **Calderas miniaturas.**

Cualquier Caldera que no exceda alguno de los siguientes términos: 16 pulgadas de diámetro interno del cilindro, 5 pies<sup>3</sup> de volumen, 100 libras/pulgada<sup>2</sup> (psi) de presión de trabajo máxima permitida, sección I CCTP - ASME.

- **Calderas marinas.**

Las regula la guardia costera, para que las embarcaciones consigan navegar.

### 2.1.2.3 Tipos de calderas según el material del cual está erigida.

- **Calderas de hierro fundido.**

Están formadas de varias fases, estas pueden comunicarse entre sí a través de conexiones o de forma unitaria a acumuladores externos.

Figura 5 Caldera de hierro fundido



Fuente: [www.portalguarani.com](http://www.portalguarani.com)

- **Calderas de acero.**

Fabricadas en su totalidad con tubería y láminas de acero, las juntas se realizan por medio de soldadura. [3]

Figura 6 Calderas de acero



Fuente: [www.spanish.aac-autoclave.com](http://www.spanish.aac-autoclave.com)

#### 2.1.2.4 Tipos de calderas según la disposición de los fluidos.

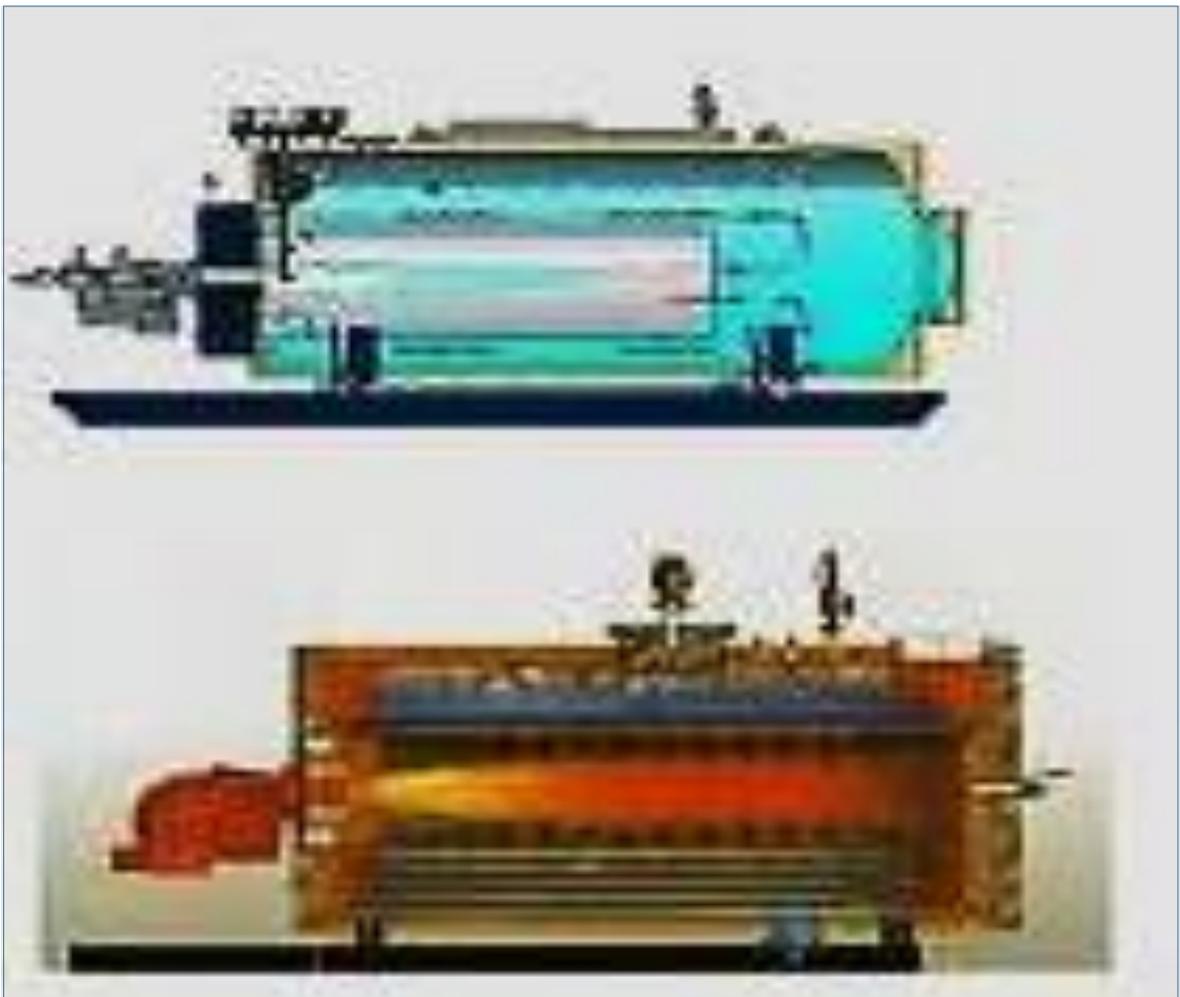
- **Calderas pirotubulares.**

Los tubos son rectos y se encuentran rodeados de agua en su exterior, al interior de estos circulan los gases de combustión.

- **Calderas acuotubulares.**

En estas calderas atraviesa agua o vapor, y la llama trasgrede en la parte externa de los tubos, usualmente son acoplados dos cilindros horizontales de forma paralela, los mismos que están provisionados de casquetes duales en los extremos. [3]

Figura 7 Generadores de vapor



FUENTE: [Generadoreses.slideshare.net](http://Generadoreses.slideshare.net)

### 2.1.2.5 Tipos de calderas según la posición y forma de los tubos.

El área de caldeo puede ser clasificada:

- Por la forma del tubo: rectos, inclinados o sinuosos.
- Por la posición de los tubos: horizontal, inclinadas o vertical

### 2.1.2.6 Tipos de calderas según su funcionamiento.

Citamos las que trabajan con quemador, en las cuales el calor resulta de la combustión de combustible y las calderas sin quemador; en estas el calor se origina en una fuente externa.

### 2.1.2.7 Tipos de calderas según forma de circulación de fluidos.

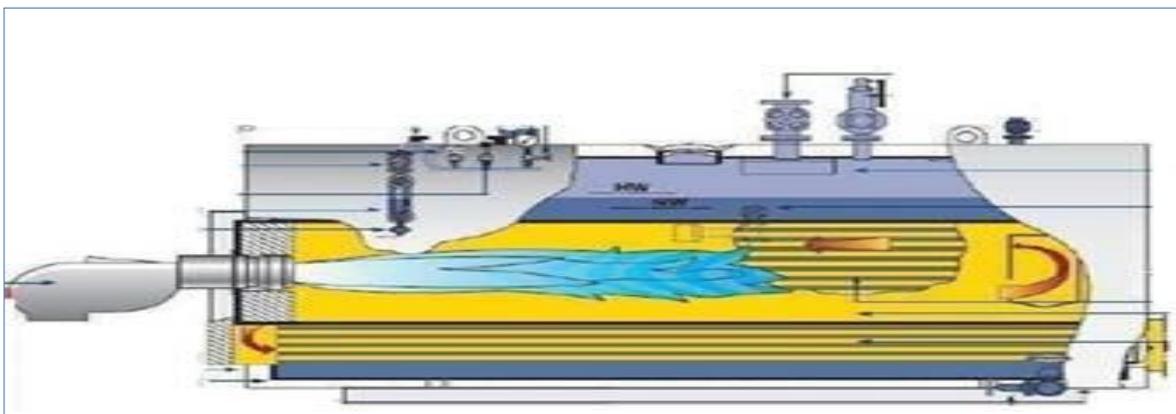
Un alto porcentaje de calderas utiliza tiro forzado o inducido. En la actualidad pocas operan con tiro natural. [3]

### 2.1.2.8 Tipos de calderas según la posición del hogar.

- **Internos.**

Se consideran de hogar interno cuando el área de combustión se encuentra cubierta por agua, y la radiación es el medio por el cual se transfiere calor.

Figura 8 Caldera de hogar interno

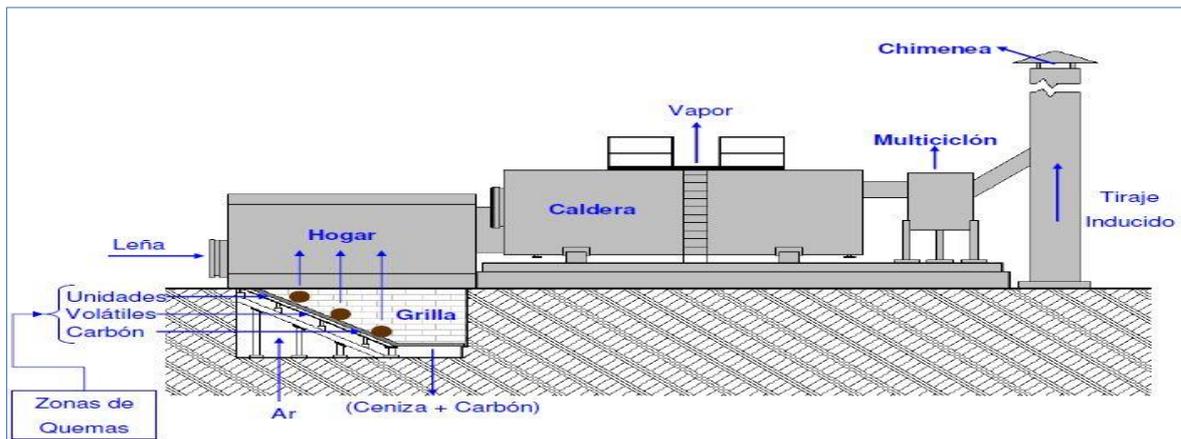


Fuente: [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

- **Externos.**

Se considera hogar externo, cuando este es parte complementario o está construido en la parte inferior de la caldera. [3]

Figura 9 Caldera de hogar externo



Fuente: [www.taringa.net](http://www.taringa.net)

### 2.1.2.9 Tipos de calderas según la fuente de calor.

El calor suministrado puede originarse mediante:

- Quema de combustibles, sean estos sólidos, líquidos, o gaseosos
- Gases calientes producto de reacciones químicas, desechos en descomposición, etc.
- Resistencias eléctricas
- Energía nuclear

### 2.1.2.10 Tipos de Calderas Según el Combustible.

Las calderas son diferenciadas cotidianamente, relacionando el combustible que se utiliza para generar llama

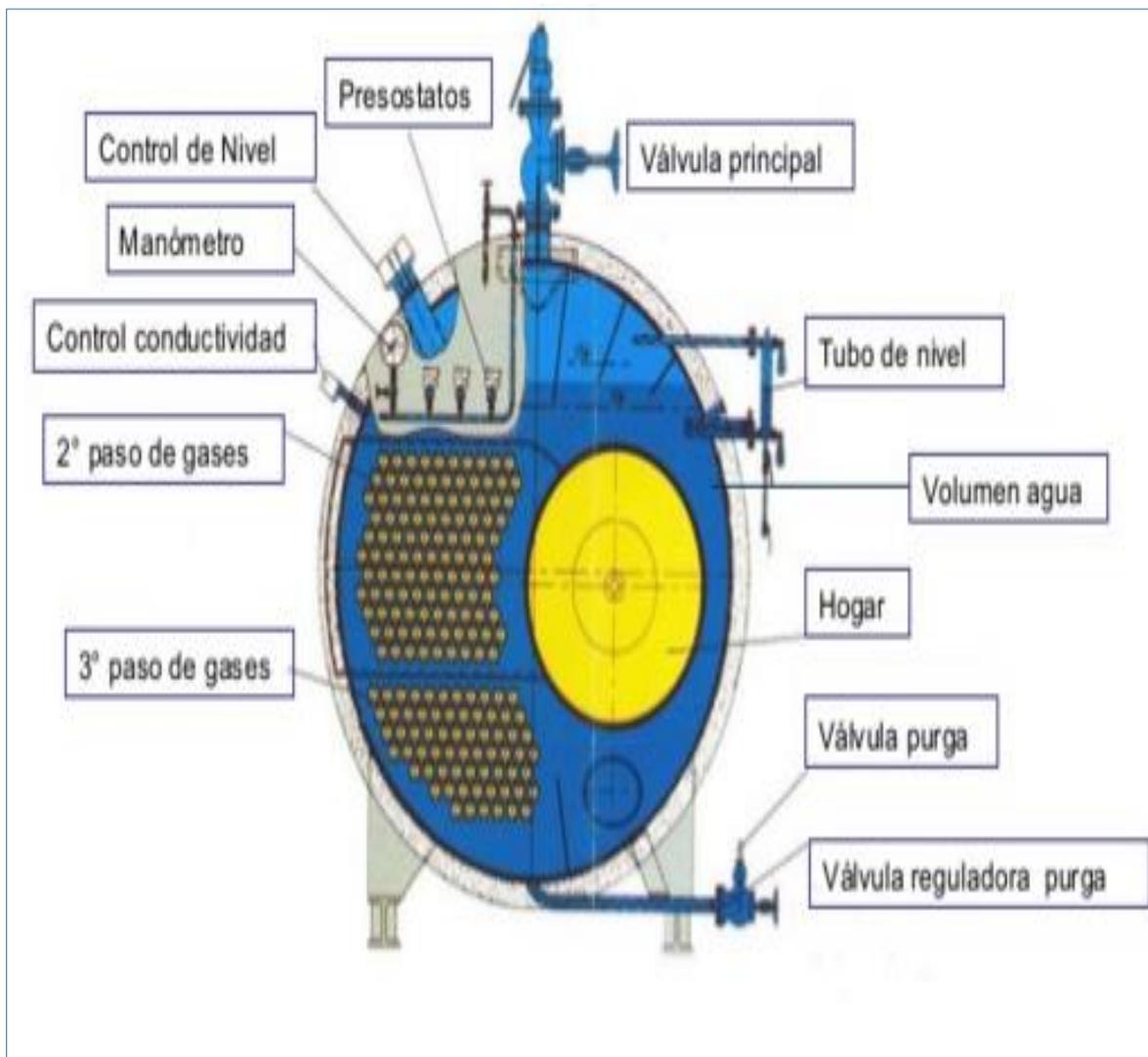
1. Sólido, citando entre estos: carbón, carbón pulverizado, madera, bagazo, etc.
2. Líquido: diésel, kerex, bunquer, etc.
3. Gaseoso

### 2.1.3 Partes Constitutivas.

Una caldera está compuesta principalmente por los siguientes elementos:

- Superficies Evaporativas (Carcaza, espejos).
- Hogar.
- Quemador.
- Canales para suministro de aire para la combustión y deyección de los gases producto de la combustión, incluyendo la chimenea.
- Equipos y mecanismos auxiliares (Tanques de alimentación de suministro, bombas de suministro, tratamiento de agua. Ventiladores de tiro inducido o forzado, etc.). [5]

Figura 10 Partes principales de una caldera



Fuente: [www.es.slideshare.net](http://www.es.slideshare.net)

## 2.1.4 Componentes de seguridad de una caldera.

- Válvulas de seguridad

Figura 11 Válvulas de seguridad



Fuente: [www.sotermic.cl](http://www.sotermic.cl)

- Detector de llama (fotocelda)

Figura 12 Fotocelda



Fuente: [www.calderas-inova.com](http://www.calderas-inova.com)

- Control de presión de seguridad

Figura 13 Presostato Honeywell



Fuente: [www.dominion.com.mx](http://www.dominion.com.mx)

- Control auxiliar de bajo nivel de agua

Figura 14 Control de nivel (flotador)



Fuente: [www.lasmaquinasindustriales.blogspot.com](http://www.lasmaquinasindustriales.blogspot.com)

- Baliza sonora o visual

Figura 15 Alarma visual y sonora



Fuente: [www.encrypted-tbn3.gstatic.com](http://www.encrypted-tbn3.gstatic.com)

### 2.1.5 Aplicaciones del Vapor.

El vapor es usado en un gran rango de industrias. Algunas aplicaciones cotidianas para el vapor son: procesos de ebullición de fluidos en fábricas y plantas, turbinas eléctricas excitadas por vapor, secado de mediante radiadores, etc. [6]

Generalizando las aplicaciones del vapor en la industria tenemos:

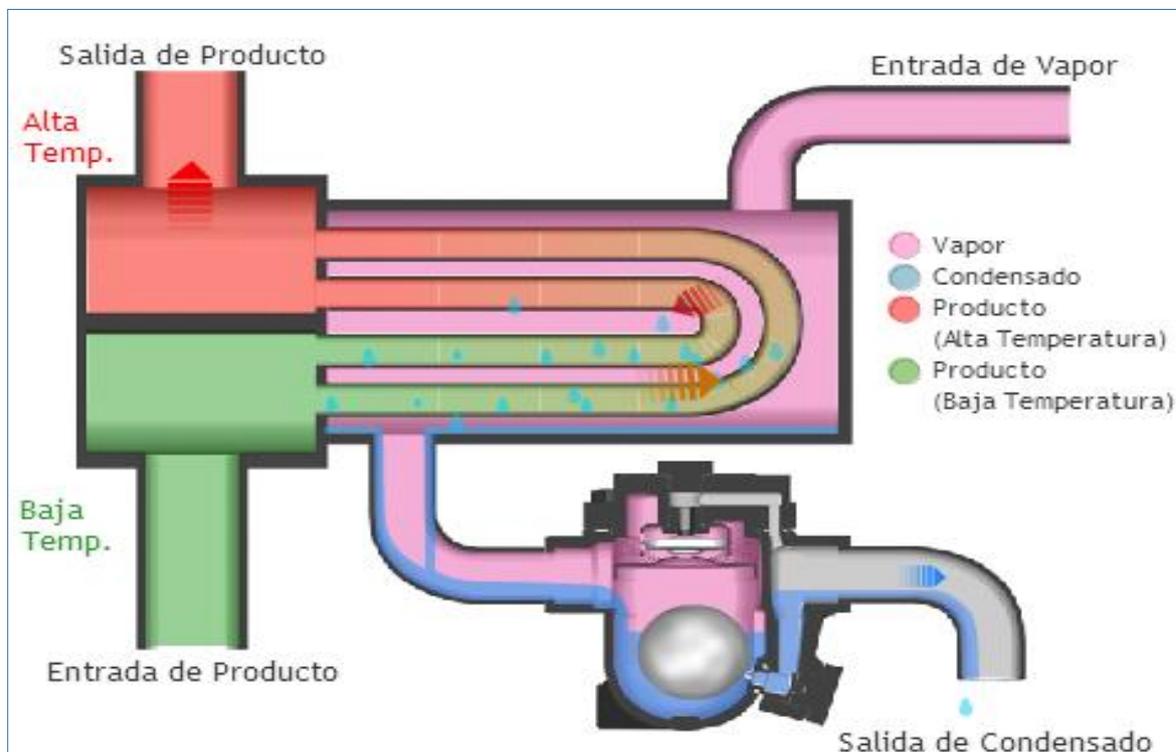
- Esterilización
- Movimiento
- Atomización
- Hidratación
- Humidificación

Para nuestra investigación nos vamos a enfocar en las aplicaciones más comunes.

### 2.1.5.1 Vapor para Calentamiento.

Es proporcionado a los componentes a temperaturas y presiones mayores de 100°C y 0 MPa respectivamente, comúnmente con presión positiva. Fácilmente encontraremos aplicaciones de este vapor ya que, en industrias de alimentos, producciones químicas, y refinerías es imprescindible. El vapor saturado se utiliza como principio de calentamiento en intercambiadores de calor, sean estos de placas, tubulares, de cortina, etc., además en reactores y pre calentadores de aire, u otros tipos de mecanismos destinados a transferir calor en un proceso.

Figura 16 Intercambiador de tubos y coraza



FUENTE: [www.tlv.com](http://www.tlv.com)

Dentro de un intercambiador de calor, la temperatura del vapor es elevada mediante convección de calor, una vez transferida la energía calórica de este, la temperatura tiende a disminuir lo cual obliga al cambio de estado de gaseoso a condensado<sup>4</sup>. Por ser el condensado perjudicial dentro de un sistema de calentamiento, este se desaloja a través de una trampa de vapor sea esta termodinámica, de balde invertido o similares. [6]

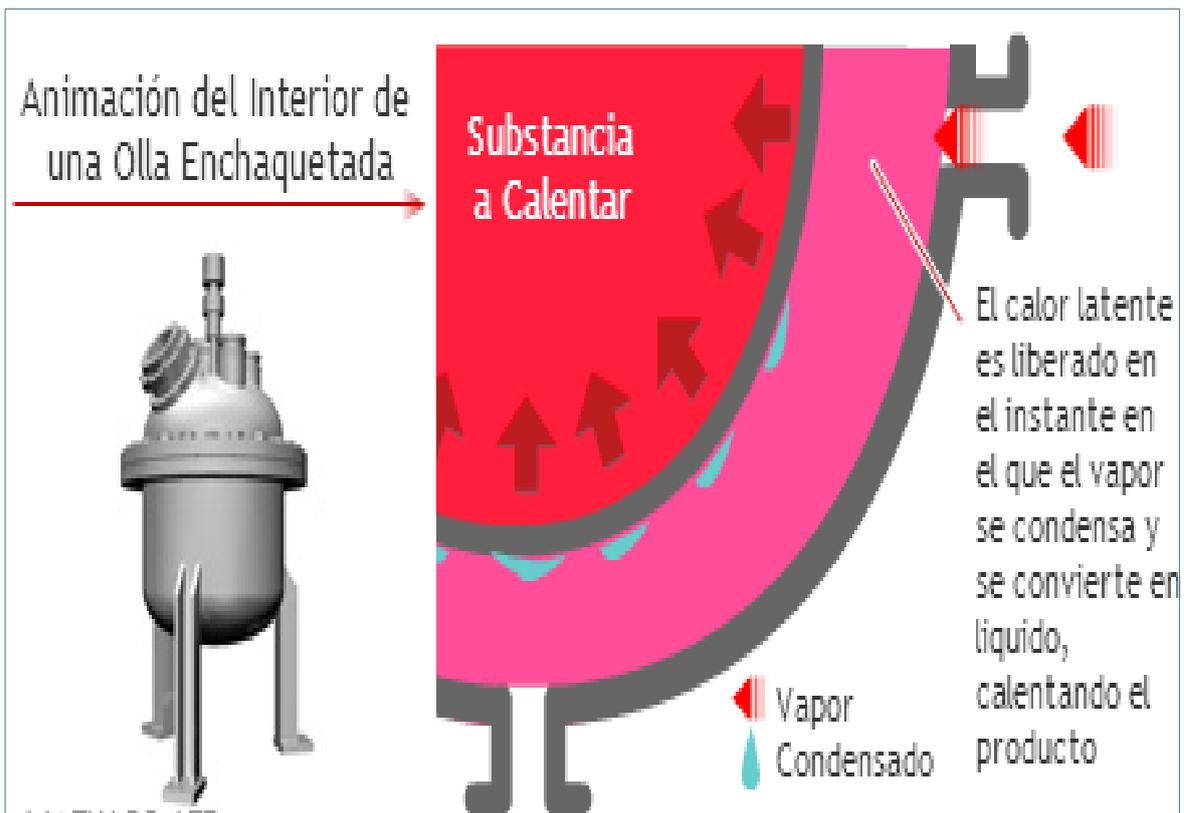
<sup>4</sup> Agua saturada o agua caliente en estado líquido.

## 2.1.5.2 Vapor al Vacío.

En los últimos años es notorio el incremento del uso de vapor para calentamiento a temperaturas inferiores a 100°C, generalmente es la condición de temperatura para manipular agua caliente.

Al usar vapor saturado al vacío igual que vapor saturado a presión positiva, la temperatura se modifica de manera instantánea con apenas ajustar la presión, permitiendo el control de temperatura de modo más eficaz que las aplicaciones que emplean agua caliente. Cabe recalcar el uso de una bomba de vacío con el equipo, ya que sin esta resulta imposible reducir la presión por debajo de la presión atmosférica.

Figura 17 Calentamiento con Calor (Vapor) Latente



FUENTE: [www.tlv.com](http://www.tlv.com)

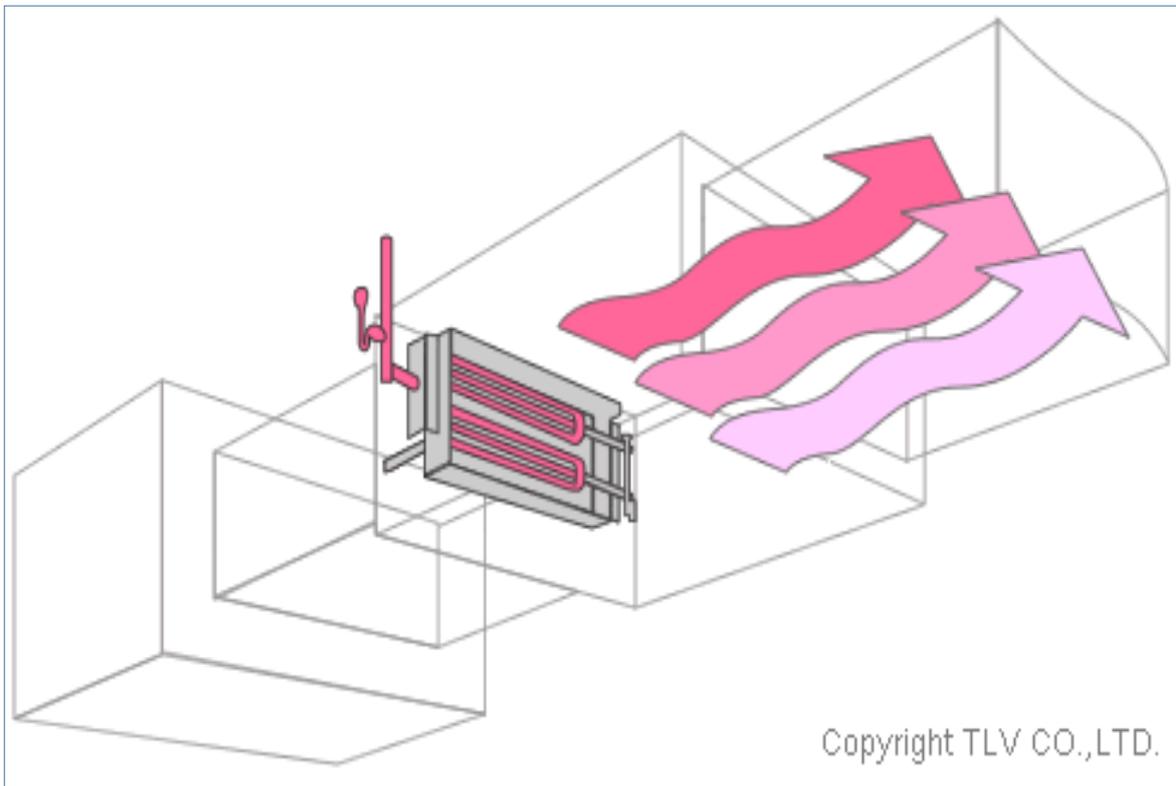
A diferencia de un sistema de calentamiento de agua caliente, este nos permite realizar un calentamiento uniforme con mayor rapidez, sin provocar un desbalance de calentura. [6]

### 2.1.5.3 Vapor para Humidificación.

En ciudades o países con climas fríos, utilizan este vapor como principio de calor para calentamiento o climatización al interior de las inmediaciones.

Las bobinas HVAC<sup>5</sup>, combinadas con humidificadores de vapor, se utilizan para acondicionar el aire, para el logro de un confort interno, con el fin de preservar documentos y libros, además controlar la propagación de infecciones. El aire frío es calentado por bobinas de vapor, la humedad del aire se condensa y cae en forma de gotas, razón por la cual se debe regular a los niveles normales, adicionando a un chorro de vapor modulado seco saturado en la línea menor del flujo de aire.

Figura 18 Humidificador de Vapor en Ductos de Aire



FUENTE: [www.tlv.com](http://www.tlv.com)

El vapor empleado para humidificar el aire al interior de un conducto previo a la distribución hacia otros sitios de una edificación. [6]

<sup>5</sup> Humidificador de Vapor en Ductos de Aire

### 2.1.6 Agua para calderas.

Con la finalidad de prolongar la vida útil de una caldera, es preciso tratar el agua, especialmente para prevenir accidentes ocasionados por corrosión e incrustaciones al interior de esta.

La calidad del agua se define por normas establecidas para los diferentes parámetros como:

- **pH.** Nos indica la alcalinidad del agua su control es necesario para prevenir problemas de corrosión futuras.
- **Dureza.** Refiere a los iones disueltos en el agua, principalmente hierro y manganeso, principales causantes de incrustaciones de difícil remoción al interior de una caldera.
- **Oxígeno.** El oxígeno presente en el agua, al aumentar la presión y temperatura al interior de la caldera, facilita la corrosión de los componentes metálicos.
- **Hierro y cobre.** Se acumula y forma depósitos que entorpecen la transferencia de calor en una caldera.
- **Dióxido de carbono.** Al igual que el oxígeno facilita la corrosión, este se produce al condensarse el agua ya que produce ácido carbónico, sumamente perjudicial.
- **Aceite.** Causante de la formación de espuma al interior de una caldera.
- **Fosfato.** Utilizado para equiparar el pH y dar protección contra la dureza del agua.
- **Sólidos disueltos.** Cantidad de impurezas disueltas en el agua.
- **Sólidos en suspensión.** Son impurezas no disueltas presentes en el agua.
- **Secuestrantes de oxígeno.** Son productos químicos utilizados para remover residuos de oxígeno presentes en el agua.

- **Sílice.** Presente en el agua puede formar incrustaciones duras, impidiendo la transferencia de calor.
- **Alcalinidad.** Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y fosfatos en el agua.
- **Conductividad.** Permite controlar la cantidad de sales disueltas en el agua.

En base a las recomendaciones de la norma británica BS-2486 la ABMA (American Boiler Manufacturing Association), se establecen las tablas siguientes, para mostrar los requerimientos que debe satisfacer el agua para alimentar a una caldera de vapor de baja presión (hasta 10 bar), con la finalidad de prevenir incrustaciones y corrosión.

Tabla 1 Parámetros de agua para alimentación de calderas 1 según BS 2486.

| PARÁMETRO                 | VALOR REQUERIDO                                |
|---------------------------|--|
| Dureza total              | < 2 ppm  |
| Contenido de oxígeno      | < 8 ppb  |
| Dióxido de carbono        | < 25 mg/l                                      |
| Contenido total de hierro | < 0,05 mg/l                                    |
| Contenido total de cobre  | < 0,01 mg/l                                    |
| Alcalinidad total         | < 25 ppm                                       |
| Contenido de aceite       | < 1 mg/l                                       |
| pH a 25 °C                | 8.5 – 9.5                                      |
| Condición general         | Incoloro, claro y libre de agentes insolubles. |

Fuente: [www.norese.com](http://www.norese.com)

Tabla 2 Parámetros de agua para alimentación de calderas 2 según BS 2486.

| PARÁMETRO                               | VALOR RECOMENDADO                              |
|---|--|
| pH a 25 °C                              | 10.5 - 11,8                                    |
| Alcalinidad Total CaCO <sub>3</sub>     | < 700 ppm                                      |
| Alcalinidad Cáustica                    | > 350 ppm                                      |
| Secuestrantes de Oxígeno:               |  |
| □ Sulfito de Sodio                      | 30 – 70 ppm                                    |
| □ Hidrazina                             | 0.1 – 10 ppm                                   |
| □ Taninos                               | 120 – 180 ppm                                  |
| □ Dietilhidroxilamina                   | 0.1 – 1.0 ppm (en agua alimentación)           |
| Fosfato Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | 30 - 60 mg/l                                   |
| Hierro                                  | < 3.0 ppm                                      |
| Sílice                                  | 150 ppm  |
| Sólidos disueltos                       | < 3500 ppm                                     |
| Sólidos en suspensión                   | < 200 ppm                                      |
| Conductividad                           | < 7000 uS/cm                                   |
| Condición general                       | Incoloro, claro y libre de agentes insolubles. |

Fuente: [www.norese.com](http://www.norese.com)

### 2.1.7 Propiedades de la leche.

La leche es rica en calcio, es recomendable su consumo a diario desde el momento de nacer por medio de la leche materna y en el transcurso de la vida consumiendo leche vacuna y derivados, para crear y conservar la masa ósea o evitar la aparición de Osteoporosis.

- **Leche para consumo humano.**

Llamamos así al producto íntegro del ordeño total sin interrupciones, en condiciones de aseo, que proporciona una vaca lechera en condiciones óptimas de salud y alimentación; libre de aditivos de ninguna especie. [7]

Adicionado, leche es el producto obtenido luego de transcurrir el parto ya que **“La leche de los 10 días antepuestos y posteriores al parto no es apta para consumo humano”**. Perenemente el ordeño debe ser total, caso contrario al haber leche en la ubre, la contextura química tendrá variaciones.

El contenido de grasa es variable dependiendo de las estaciones del año, entre un 4.8% durante el invierno y un 2.8% en verano, la industria láctea estandariza este contenido graso a través del proceso de homogenización, con esto se logra dispersar en forma pareja la grasa de la leche. Es decir, si el índice de grasa es alto se extrae un porcentaje pudiendo derivarla (grasa) para obtener crema o manteca. [7]

- **Variedades de leche.**

#### **Leche fluida (entera).**

Se llama así a la leche a granel desinfectada, refrigerada y conservada a 5°C, opcionalmente se procederá a la terminación, pasteurización o estandarización de elementos grasos, trasladada en pequeñas o grandes cantidades de una industria láctea a otra para procesarla y envasarla bajo normas de higiene.

La leche fluida entera se puede someter a procedimientos de higienización mediante adición de calor. Procesos de ultra alta temperatura (UAT ó UHT), que consisten en llevar la leche

homogenizada a temperaturas de 130° a 150°C durante 2 a 4 segundos, permiten higienizarla de forma apropiada, de manera que estas lleguen en forma segura al consumidor. Las leches pueden ser modificadas en su contenido graso. [7]

Tabla 3. Información Nutricional.

| Aporte nutricional de la leche |              |                 |            |
|--------------------------------|--------------|-----------------|------------|
| <u>Calorías</u>                | 59 a 65 kcal | <u>Agua</u>     | 87% al 89% |
| <u>Carbohidratos</u>           | 4.8 a 5 gr.  |                 |            |
| <u>Proteínas</u>               | 3 a 3.1 gr.  |                 |            |
| <u>Grasas</u>                  | 3 a 3.1 gr   |                 |            |
| Minerales                      |              |                 |            |
| <u>Sodio</u>                   | 30 mg.       | <u>Fósforo</u>  | 90 mg.     |
| <u>Potasio</u>                 | 142 mg.      | <u>Cloro</u>    | 105 mg.    |
| <u>Calcio</u>                  | 125 mg.      | <u>Magnesio</u> | 8 mg.      |
| <u>Hierro</u>                  | 0.2 mg.      | <u>Azufre</u>   | 30 mg.     |
| <u>Cobre</u>                   | 0.03 mg.     |                 |            |

Fuente: [www.zonadiet.com](http://www.zonadiet.com)

En cuanto a las vitaminas, la leche contiene tanto del tipo hidrosolubles como liposolubles, en cantidades que no representan un gran aporte, dentro las vitaminas que más se destacan citamos la riboflavina y la vitamina A. La industria lechera ha tratado de suplir estas carencias expendiendo leches enriquecidas por agregado de nutrientes.

Por su alto contenido de agua, la leche es un alimento propenso a alteraciones y desarrollo microbiano, por eso siempre debe conservarse refrigerada además de respetar su fecha de vencimiento.

- **Leches modificadas (descremadas - comerciales).**

Se pueden producir leches descremadas con contenido de grasa máximo de 0.3%, y semidescremadas cuando sea mayor a 0.3% y menor al 3%. Esta información deberá necesariamente figurar en los envases de forma clara y manifiesta.

La leche parcialmente sin crema (descremada), la cual promedia el 1.5% de grasa, aporta igual que la entera, aparte de esta variación de contenido graso, lo cual genera una menor cantidad de calorías. Normalmente recomiendan los médicos que las personas mayores de 25 años ingieran leche parcialmente descremada independientemente de su peso, ya que sirve como medida preventiva de enfermedades cardiovasculares. [7]

- **Leche en polvo.**

Se encuentra en el mercado, enteras, semidescremadas y descremadas. Por medio de procesos industriales el líquido es deshidratado y reducido a polvo.

En este transcurso, la leche se introduce a gran presión en cámaras calientes, dentro de las cuales se deshidrata. Así, se forma una nube de pequeñas gotas de leche de las cuales se extrae el agua instantáneamente y que se conoce como Sistema Spray.

Las propiedades de la leche en polvo son las mismas, que la de su par fluido. [8]

- **Leche condensada.**

Generalmente se utiliza para repostería y no para dieta diaria, ya que contiene un porcentaje elevado de grasa y mínimo de agua. Se obtiene a partir de leche en estado líquido, con la adición de sacarosa y glucosa. La concentración se obtiene en recipientes al vacío con presiones negativas y temperaturas medias, durante este proceso el agua se evapora, finalmente se obtiene un producto viscoso, este producto contiene no más de 30% de agua y un mínimo de 7% de grasa.

- **Casos en que el consumo beneficia.**

En enfermedades como la Gastritis, la leche, es beneficiosa ya que por ser un alimento alcalino (pH 6.6), esta neutraliza la acidez que caracteriza esta enfermedad.

- **Casos en los que se restringe su consumo**

No se recomienda ingerir leche a quienes padezcan patologías intestinales, puesto que el organismo no la tolera por su contenido de lactosa (azúcar). En estos casos, la leche no es absorbida a nivel intestinal debido a la escases de la enzima Lactasa, lo cual, ocasiona distensión abdominal, dolor, inflamación y flatulencias. En estos casos, es recomendable el consumo de yogur como alternativa para absorber calcio, dado que este es mejor tolerado puesto que se encuentra modificada su lactosa.

- **Preparaciones comunes.**

La leche se puede consumir sola, en derivados como manteca, crema, yogurt o queso, para cortar infusiones, en la preparación de licuados y batidos, preparación de helados, postres, flan, budines, tortas, salsa blanca, etc.

### **2.1.8 Proceso de Pasteurización de Leche.**

Es preciso con la finalidad de reducir el número de microorganismos, efectuar procedimientos térmicos, ya que la calentura ocasiona evoluciones no deseables en la leche, que inducen modificaciones de sabor, rendimiento, y propiedad principalmente.

El proceso de pasteurización es ideal para disminuir toda la flora de microorganismos saprofitos y la totalidad de agentes microbianos patógenos, con una variación lo mínimo posible en la estructura física y química de la leche y las sustancias con actividad biológica tales como enzimas y vitaminas.

La temperatura y tiempo aplicados en la pasteurización aseguran la destrucción de los agentes patógenos tales como Mycobacterium, tuberculosis, Brucellos, Solmonellas, etc., pero no ocurre lo mismo con los microorganismos mastíticos como el Staphilococcus aureus o el Streptococcus pyogenes, tampoco destruye algunos microorganismos responsables de la acidez como los Lactobacillus. [8]

Diferentes combinaciones de temperatura y tiempo, han sido objeto de estudio para efectos de pasteurización, pero básicamente se han limitado a dos:

1º) Pasteurización lenta o discontinua.

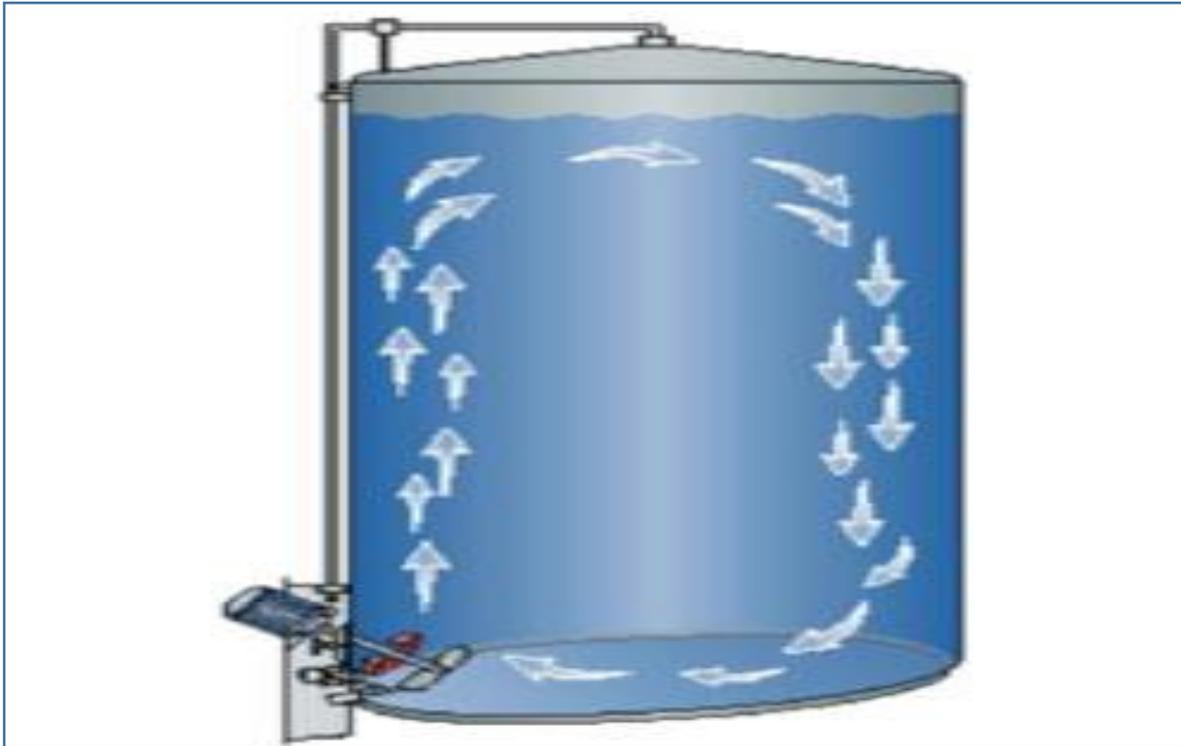
2º) Pasteurización rápida o continua.

#### **Pasteurización lenta**

La leche es calentada a temperaturas entre 62 y 64°C y se mantiene a esta temperatura por un lapso de 30 minutos.

Se calienta en recipientes o marmitas de capacidades que varían entre 200 a 1500 litros; estos tanques son de preferencia de acero inoxidable provistos de doble camisa (doble pared); la leche se calienta por medio de vapor o agua caliente los cuales circulan entre las paredes del tanque, están dotados de un agitador para hacer el tratamiento más homogéneo. [8]

Figura 19. Marmita



Fuente: [www.portalechero.com](http://www.portalechero.com)

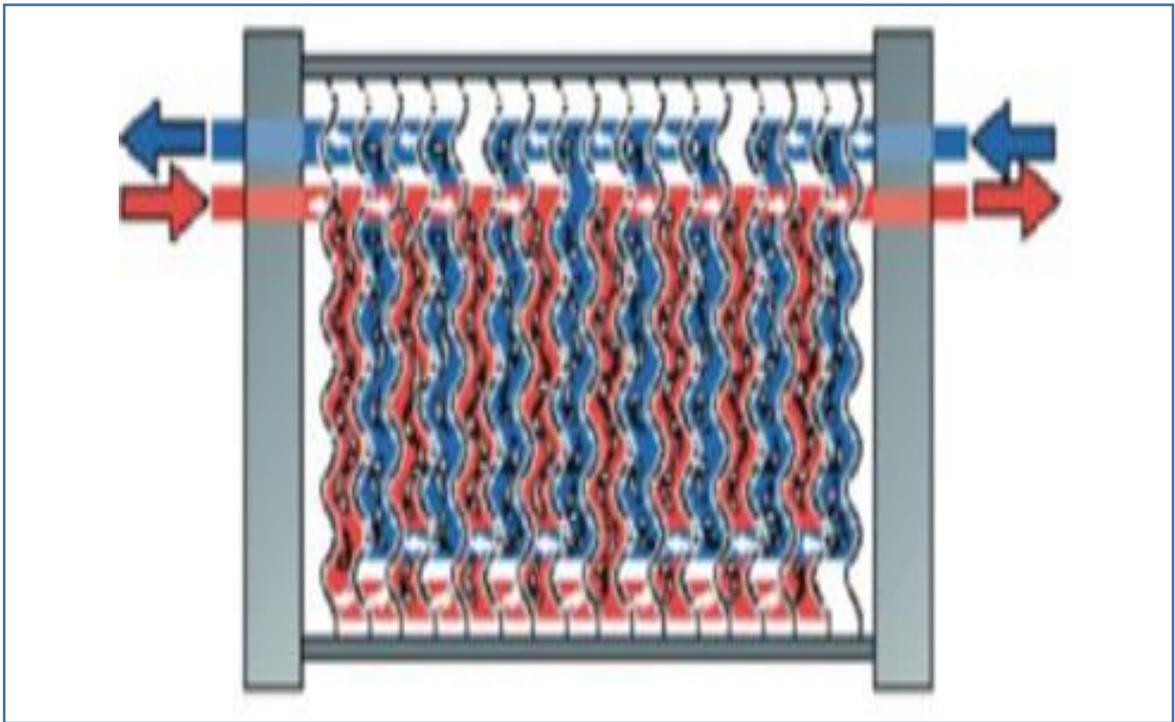
Después del lapso de 30 minutos, se procede a enfriar la leche a temperaturas entre 4 y 10°C a conveniencia de cada quien. Para efectuar el enfriamiento se utiliza el mismo recipiente haciendo circular por la camisa de doble fondo agua helada hasta que la leche tenga la temperatura deseada.

El proceso de pasteurización lenta se recomienda para volúmenes pequeños de leche, una aproximación de 2000 litros diarios, caso contrario no se aconseja.

### **Pasteurización rápida**

Llamada también pasteurización continua o bien HTST (High Temperature Short Time), consiste en elevar la temperatura a la leche, entre 72 - 73°C por un tiempo de 15 a 20 segundos.

Figura 20. Intercambiador de placas.



Fuente: [www.portalechero.com](http://www.portalechero.com)

Se transfiere calor en intercambiadores tipo radiador (de placas), y el trayecto que realiza la leche al interior de este se describe a continuación:

La leche llega al intercambiador de calor a una temperatura aproximada de 4°C, desde un tanque regulador (silo); en la primera etapa se calienta por regeneración. En esta sección de precalentamiento llamada también regeneración, la leche cruda se calienta a 58°C aproximadamente a través de la leche ya pasteurizada cuya temperatura se aprovecha en esta etapa.

Al salir de esta etapa, la leche atraviesa un filtro que elimina impurezas que puedan existir, seguidamente pasa a la etapa de calentamiento donde se la calienta hasta alcanzar la 72 - 73°C (temperatura de pasteurización), temperatura obtenida de agua caliente. [8]

## 2.2 Marco referencial.

### 2.2.1 Presión.

Se define como presión a la fuerza ejercida en el punto de un área determinada, razón por la cual abreviamos diciendo “Presión es igual a fuerza sobre área”.

En el sistema internacional SI, la unidad de medida de la presión es el Pascal:

$$1 \text{ Pascal} = 1Pa = N/m^2$$

Otra unidad bastante común es el bar:

$$1 \text{ bar} = 10^5 Pa [9]$$

- **Presión Atmosférica.**

Es la presión a la cual estamos sometidos los seres vivos o inertes existentes en el planeta tierra, la presión normal tomada regularmente para los cálculos (valor medio), es la que se obtiene a nivel del mar y corresponde a 1 Atmósfera. [10]

$$1 \text{ Atmósfera} = 1.013 \times 10^5 Pa = 1.013 \text{ bar} = 14.70 \text{ lb/in}^2$$

### 2.2.2 Temperatura.

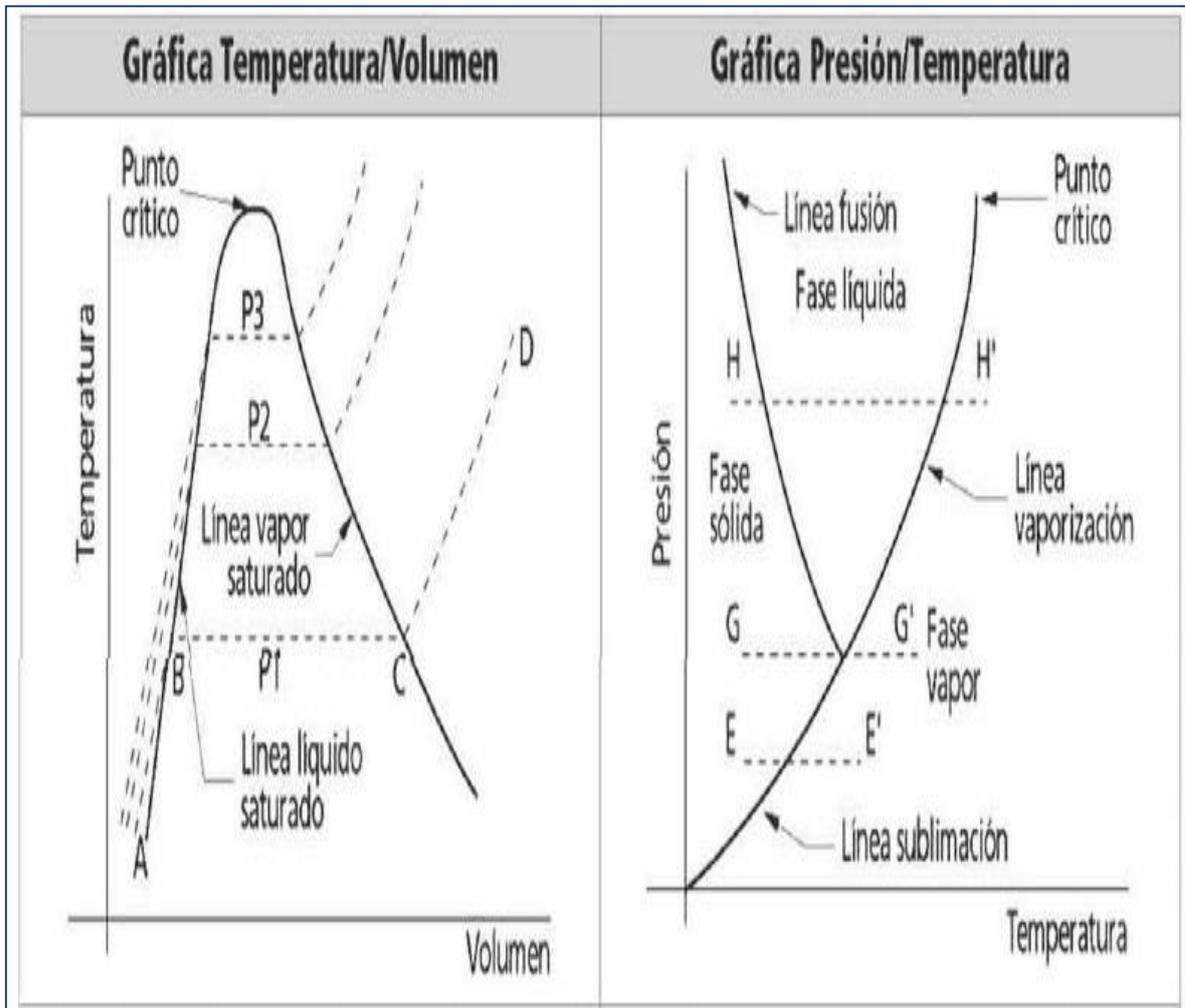
Utilizando nuestro sentido de tacto, claramente podemos aseverar ciertas sensaciones de estímulo como el frío o calor en un cuerpo. Sin embargo, el tacto no nos permite identificar cuanto más caliente o frío se encuentra un cuerpo si lo comparamos con otro.

El estímulo que produce las sensaciones de frío o caliente en nosotros, en otros cuerpos es visible, es decir se puede apreciar con claridad. Podemos citar para una mejor comprensión, ejemplos como el de una varilla de acero, la cual al estar fría conserva una longitud y al incrementar su temperatura (calentarla) su longitud aumenta.

En resumen, podemos decir: Cuando un cuerpo está más caliente su temperatura es elevada y mientras más frío este, su temperatura será baja.

Las presiones con la temperatura son directamente proporcionales, es decir cuando la presión aumenta, la temperatura también aumenta. [9]

Figura 21 Diagramas VvsT, TvsP



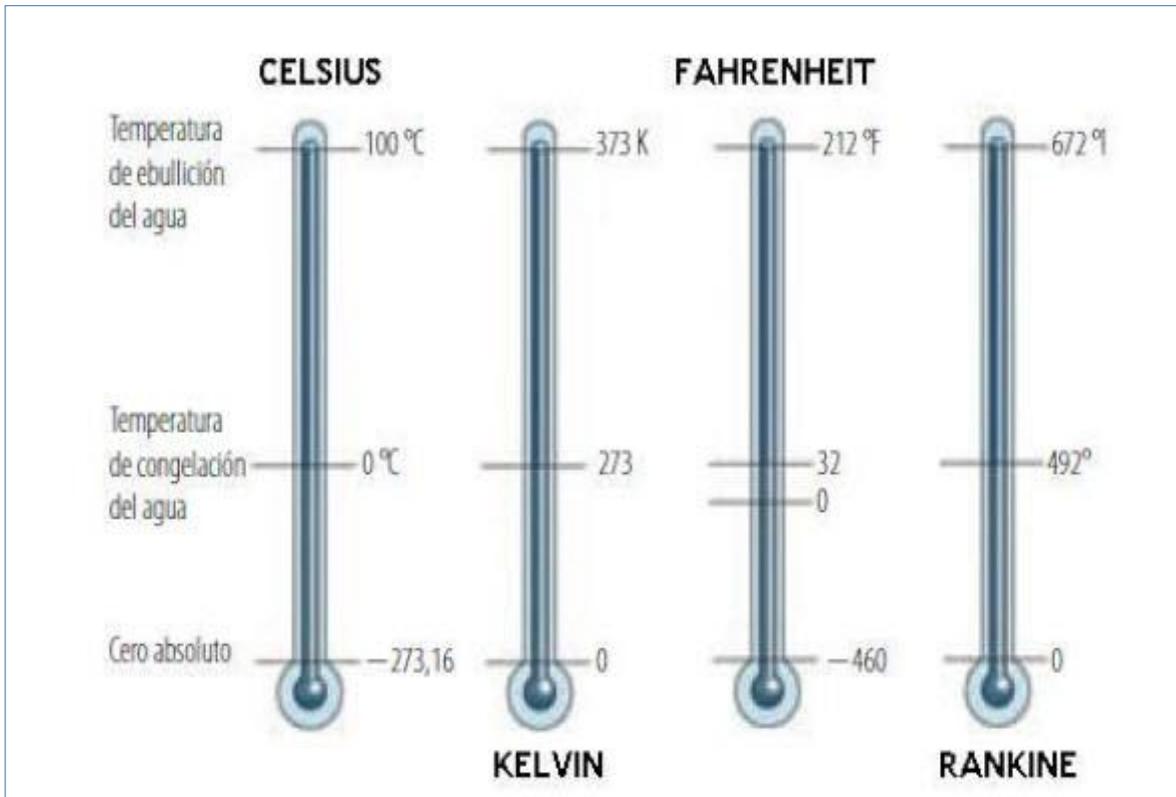
Fuente: [www.es.scribd.com](http://www.es.scribd.com)

### 2.2.3 Medidas de temperatura.

Para medir la temperatura primeramente debemos de tener en claro dos fenómenos físicos que se dan en el agua en condiciones normales, es decir con una presión atmosférica de 76cm de mercurio. Estos fenómenos son el punto de ebullición y el punto de fusión, conjuntamente con estos está el cero absoluto. [11]

Tenemos tres escalas de medición más comunes son: Celsius, Kelvin, Fahrenheit, Rankine.

Figura 22 Escalas de temperatura



FUENTE: [www.quimicafisica.com](http://www.quimicafisica.com)

#### 2.2.4 Líquido comprimido y líquido saturado.

Si tenemos un recipiente cerrado en un extremo por un embolo, en su interior colocamos agua a temperatura ambiente y a una atmosfera de presión, en termodinámica podemos decir que tenemos un líquido comprimido. Si a este mismo recipiente le transferimos calor y elevamos su temperatura por debajo del punto de ebullición del agua ( $60^{\circ}\text{C}$ ), aun se considera un líquido comprimido ya que únicamente aumenta su volumen específico, debido a esto el embolo se moverá un poco ya q solo depende de la presión atmosférica y el peso q tenga el embolo, y el agua no se evapora todavía.

Transferimos más calor y alcanzamos los  $100^{\circ}\text{C}$ , pese a que el agua esta liquida, está en un punto que, con una pequeña adición de calor, hace que esta se vaporice una porción de esta; podemos decir que está a punto de cambiar de fase liquida a vapor. Por consiguiente, pasa de ser un líquido comprimido a ser un líquido saturado. [12]

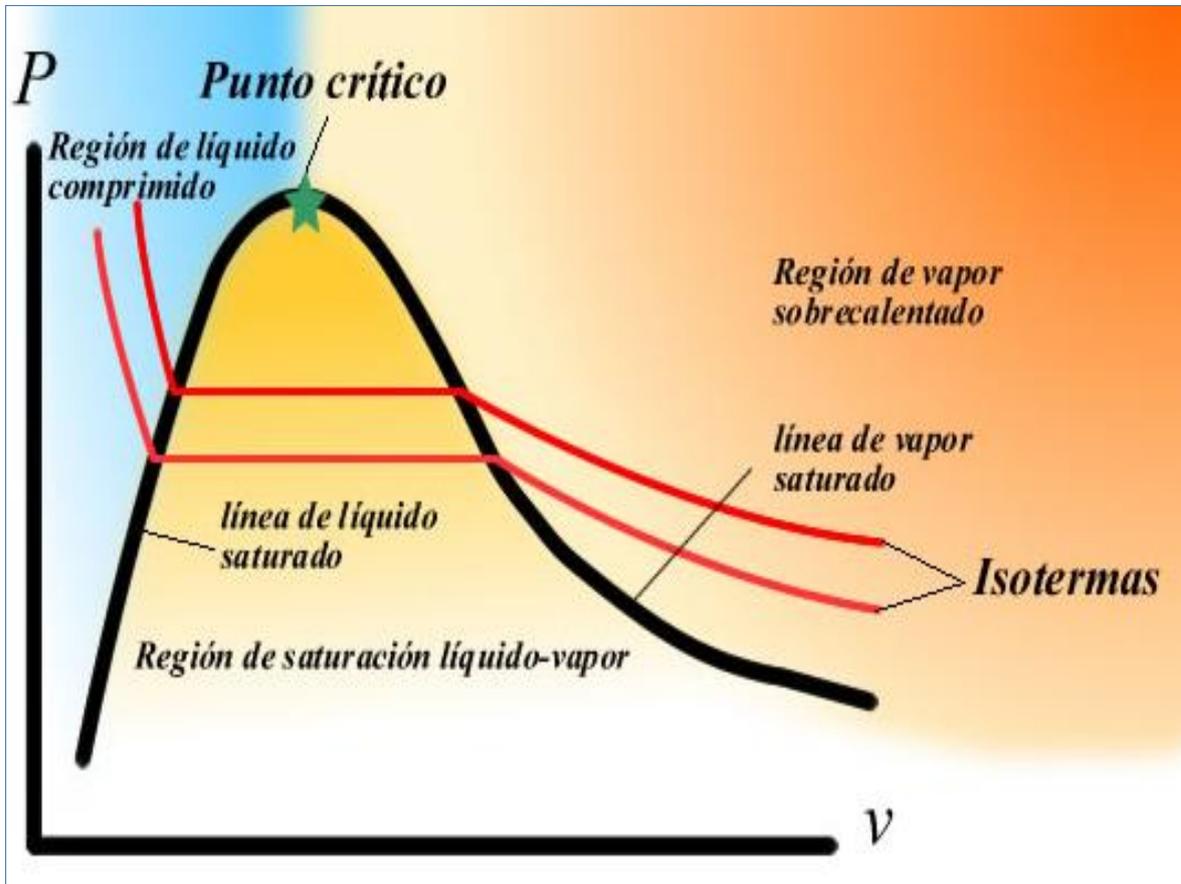
### 2.2.5 Vapor saturado y vapor sobrecalentado.

Siguiendo con el ejemplo anterior, una vez que comience la ebullición, el líquido comenzara a convertirse en “vapor” pero cualquier pérdida de calor que este tenga hará que cambie de fase nuevamente y retorne a ser un líquido, a un vapor q está a punto de cambiar de fase en estas condiciones se le conoce como vapor saturado.

A un punto medio entre el vapor y agua se le conoce con el nombre de vapor húmedo (mezcla saturada de líquido-vapor), por encontrarse en equilibrio entre sí.

Si al vapor saturado transferimos más calor, este aumenta su temperatura (supóngase 300°C) y volumen específico, si en este punto se pierde calor la temperatura tendrá una leve variación, pero no habrá condensación; siempre y cuando la temperatura se mantenga por arriba de los 100°C (1 atm). Como el vapor no está por condensarse se le conoce con el nombre de vapor sobrecalentado. [13]

Figura 23 Diagrama V vs P (liquido/ vapor)



Fuente: [www.termoweb.comyr.com](http://www.termoweb.comyr.com)

### 2.2.6 Flujo Másico.

Se entiende por flujo másico, a la masa que pasa por una sección transversal en un tiempo determinado.

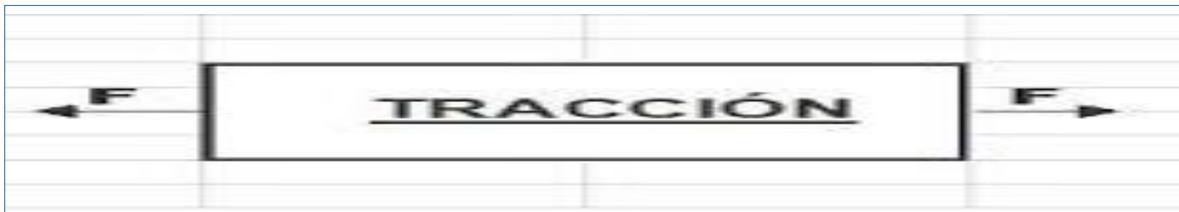
Normalmente se supone caudal unidimensional, osea, densidad y sección constantes e independientes de la posición. [14]

### 2.2.7 Tensión.

Se define como tensión o tracción a la acción de dos fuerzas (estiramiento) en sentido opuesto que actúan en un cuerpo.

La resistencia a la tracción de un material, es la fuerza máxima q este presenta antes de romperse, producto de las fuerzas actuantes. [15]

Figura 24 Tensión o tracción



FUENTE: [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com)

### 2.2.8 Compresión.

Es la resistencia máxima de un material antes de la deformación, al aplicar fuerzas intentando comprimirlo. [15]

Figura 25 Compresión



FUENTE: [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com)

En el sistema internacional (SI) la unidad de medida tanto para tensión como para compresión es el Newton.

### **2.2.9 Potencia.**

La palabra potencia proviene del idioma latín (Potentia), traducido al idioma español significa Fuerza o Poder. En física podemos decir que potencia es la relación que existe entre una cantidad de trabajo realizado por una maquina o humano en un tiempo determinado, la unidad de medida es el watt (W). [11]

## **CAPÍTULO III**

# **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Localización.**

La parroquia rural Pucayacu, zona agrícola-ganadera, con un alto índice de producción de caña de azúcar, leche y sus derivados, fuente principal de trabajo para sus habitantes; se encuentra al noroccidente de la cordillera de los Andes, sus límites son:

Norte y Este: Cantón Sigchos.

Sur: Parroquia Guasaganda.

Oeste: Cantón Valencia.

Altitud: 400 a 3000 metros sobre el nivel del mar

Cuenta con una Superficie de: 184.6 Kilómetros Cuadrados

Coordenadas UTM: Latitud N 9929210 y Longitud E 707300

Organización política: Actualmente está constituida en once recintos rurales, La Carmela, Guadual, Guayabo, Esmeraldas, San Ramón, Naranjal, Sandomo, La Argentina, Choalo, Solonso, Tonglo, En el casco parroquial, se encuentran las instituciones públicas. [16]

### **3.2 Tipos de investigación.**

Se utilizó investigación bibliográfica e investigación descriptiva.

#### **3.2.1 Investigación bibliográfica.**

Mediante esta investigación se obtuvo información valiosa como: documentos, libros y tesis, dentro de los cuales se encuentra información concerniente al tema diseño y construcción de generadores de vapor (Calderas).

### **3.2.2 Investigación descriptiva.**

Por medio de esta, fue posible determinar las causas y consecuencias de la problemática referente a la incidencia que existe en las pequeñas plantas procesadoras de lácteos al momento de elaborar sus productos, ya que lo hacen de manera artesanal empírica y no emplean generadores de vapor, lo que ocasiona que se obtenga como resultado el producto final sin garantías de higiene y salubridad, además de existir desperdicio de materia prima generando pérdidas económicas.

### **3.3 Métodos de investigación.**

Los métodos empleados dentro de la investigación fueron los siguientes: analítico, deductivo e inductivo:

#### **3.3.1 Método analítico.**

Con el empleo de este método se logró identificar los problemas que ocasiona el no contar con un equipo generador de vapor dentro de una planta procesadora de lácteos.

#### **3.3.2 Método deductivo.**

Se utilizó en el presente proyecto para definir la posibilidad del diseño de un caldero piro tubular a diésel para los pequeños productores de lácteos.

#### **3.3.3 Método inductivo.**

El uso de ese método fue admitido debido a que con el presente estudio se logró determinar las bases para el diseño y construcción de la máquina generadora de vapor.

### **3.4 Fuentes de recopilación de información.**

La información recopilada en este proyecto proviene un 90% de libros técnicos, el porcentaje restante se atribuye a información en la red.

La información necesaria antes de proceder al cálculo se obtuvo mediante entrevistas con el presidente y los miembros de la Asociación de lecheros de La Maná, también se realizó visitas a las inmediaciones de varios productores de lácteos para constatar el tipo de equipos existentes, capacidades y volúmenes de producción, parámetros de temperatura del producto en el proceso, intervalos de tiempo, etc.

### **3.5 Diseño de la investigación.**

Este proyecto tiene un diseño no experimental, ya que no se manipula variable alguna, puesto que de las prácticas de manufactura tradicionales se extrae la información necesaria y se establece parámetros para iniciar los cálculos.

### **3.6 Instrumentos de investigación.**

- Entrevista
- Observación directa
- Análisis de documentos

### **3.7 Tratamiento de los datos.**

Cuestionario entablado con los miembros de la Asociación de Lecheros “La Maná”, sede Guasaganda, en reuniones rutinarias.

1. ¿Está usted de acuerdo en que se debe de pasteurizar la materia prima para la elaboración de derivados lácteos?
2. ¿Si el Gobierno Nacional suspende el subsidio al gas licuado de petróleo y exige la pasteurización de lácteos y sus derivados cree usted poder continuar laborando?
3. ¿Conoce usted algún sistema diferente al de quemador a gas (fuego directo), que sea más seguro al momento de operar, refiriendo a los posibles accidentes y contaminación del producto al momento de procesarlo?

4. ¿Tiene conocimiento sobre calderas de vapor y sus bondades?
5. ¿Conoce usted de otro uso que podría darse al vapor en una industria de lácteos?
6. ¿Está usted en posibilidad de adquirir un equipo generador de vapor, para la tecnificación e innovación de la planta de producción actual?
7. ¿Cuál es el monto dispuesto a realizar en la inversión de un equipo para generar vapor?
8. ¿De realizar la inversión en un equipo generador de vapor, el capital provendría fondos propios, préstamos o donaciones?
9. ¿Confía usted en la mano de obra ecuatoriana y la capacidad de los técnicos al momento de diseñar y construir un equipo determinado?
10. ¿Está usted de acuerdo con la presentación de un proyecto de diseño para la construcción de un generador de vapor eficiente y al alcance económico de los pequeños productores de lácteos, construido 100% en nuestro país?

### **3.8 Recursos humanos y materiales.**

#### **3.8.1 Equipo humano.**

El equipo humano que participará en la realización de la investigación son los siguientes:

- Autor
- Director de proyecto
- Pequeños productores de lácteos

### 3.8.2 Materiales de oficina.

| <b>Descripción</b> | <b>Cantidad</b> |
|--------------------|-----------------|
| Hojas (resmas)     | 3               |
| Bolígrafos         | 6               |
| Lápiz              | 6               |
| Carpetas           | 8               |
| Anillados          | 6               |
| Grapadora          | 1               |
| Perforadora        | 1               |

### 3.8.3 Equipo de Oficina.

| <b>Descripción</b>             | <b>Cantidad</b> |
|--------------------------------|-----------------|
| Computadora                    | 1               |
| Impresora                      | 1               |
| Software AutoCAD               | -               |
| Software Solid Work            | -               |
| Software Microsoft Excel, Word | -               |

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1 Resultados.

### 4.1.1 Cálculos de un caldero pirotubular horizontal de tres pasos.

Los cálculos de la investigación van a partir de los parámetros al momento de procesar el producto que en este caso es la leche, la cual puede ser pasteurizada de manera rápida o de manera lenta<sup>6</sup>. De las dos opciones tomamos la última ya que las marmitas se fabrican en el país y su costo es relativamente bajo. Como la temperatura máxima para este proceso de pasteurización es de 64°C, se duplica esta temperatura considerando las pérdidas en el trayecto y definimos la presión necesaria mediante tablas.

- **Determinación de la Presión de trabajo y el Flujo másico de vapor.**

La presión de trabajo corresponde a la presión máxima del caldero, en la cual el presostato enviará una señal al quemador para que este se apague y cese la subida de presión.

Mientras que el flujo másico se asume, considerando que las plantas artesanales poseen marmitas de 300lt y lo proyectamos para dos marmitas más un porcentaje adicional, basado en los datos que proporcionan los fabricantes reconocidos de marmitas. (Ver Anexo 2)

Tabla 4. Datos técnicos a emplearse en el diseño

|  |                 |                          |            |
|--|-----------------|--------------------------|------------|
| <b>Presión de trabajo (Ptrab)</b>                                      | 40 PSI          | 2,812 kg/cm <sup>2</sup> | 275,79 kPa |
| <b>Flujo másico de vapor (mfvapor)</b>                                 | 150 kg/h        |                          |            |
| <b>Entalpía de salida<sup>7</sup> del agua a 40 psi. (hsal = hg)</b>   | 2721,02KJ/kg    | 649, 9 kcal/k g          |            |
| <b>Presión y temperatura de trabajo mínimas</b>                        | 35 Psi - 126 °C |                          |            |
| <b>Temperatura de saturación<sup>8</sup> del agua a 40 psi. (Tsat)</b> |                 | 130,6729 °C              |            |

Fuente: Autor

<sup>6</sup> Ver Procesos de Pasteurización de lácteos pag.29,30.

<sup>7</sup> En termodinámica, llamamos así a la cantidad de energía que un sistema puede ceder o absorber a su entorno.

<sup>8</sup> Es la temperatura a la cual una sustancia pura cambia de fase.

#### 4.1.2 Obtención de datos en tablas termodinámicas.

- **Propiedades del Agua saturada a 25°C.**

Tabla 5. Propiedades del Agua saturada.

|  |                             |                    |
|--|-----------------------------|--------------------|
| <b>Presión Saturación.</b><br>Psat@25°C                          | kPa                         | kg/cm <sup>2</sup> |
|  | 3,1698                      | 0,03232            |
| <b>Entalpía de Entrada (Líquido Saturado).</b><br>hent = hf@25°C | KJ/kg                       | kcal/k             |
|  | 104, 83                     | 25,04              |
| <b>Entalpía Evaporación</b><br>hfg@25°C                          | KJ/kg                       | kcal/k             |
|  | 2500,9                      | 597,33             |
| <b>Volumen Especifico del Líquido Saturado</b><br>vf@25°C        | 0,001003 m <sup>3</sup> /kg |                    |

Fuente: Tabla A-5, Agua Saturada, Tabla de Presiones, Cengel, pagina 912.

#### 4.1.3 Potencia del Caldero (Potencia de trabajo).

Esta potencia es el resultado de los cálculos realizados, mas no es la potencia final o real del caldero ya que en esta no se está considerando aún el factor de seguridad.

$$P_{cal} = \frac{((mf_{vapor})(h_{sal} - h_{ent}))}{(15,44)(h_{fg@25^{\circ}C})} \quad (\text{Ecuación 1})^9$$

$$P_{cal} = \frac{((150 \text{ kg/h})(649,91 \text{ kcal/kg} - 25,04 \text{ kcal/kg}))}{(15,44)(597,33 \text{ kcal/kg})}$$

$$P_{cal} = 10,41 \text{ hp}$$

- **Factor de Seguridad.**

Este factor permite calcular la potencia de diseño, la cual siempre debe ser mayor a la potencia de trabajo. Este valor oscila entre el 10 y 25. [16]

Para este diseño se fija este valor en el 20%.

<sup>9</sup> Bernal Bolívar, Memorias de la Catedra de Operación de calderos, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca2008.

- **Potencia de Diseño.**

Es el resultado de la Potencia calculada más el incremento del factor de seguridad (a criterio del diseñador) como su nombre lo indica, brinda un grado de seguridad y confianza. Es esta potencia la que se utilizará en los cálculos posteriores.

$$P. \text{ diseño} = (P_{cal}) * (FS) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$P. \text{ diseño} = (10,16\text{hp}) (1,2)$$

$$P. \text{ diseño} = 12,49 \text{ hp}$$

Tabla 6. Potencia del caldero.

|  |          |      |
|--|----------|------|
| <b>Potencia del Caldero</b><br>Pcal    | hp       | BHP  |
|  | 10,41    | 0,77 |
| <b>Factor de Seguridad</b><br>FS       | 20%      |      |
| <b>Potencia de Diseño</b><br>P. diseño | hp       | BHP  |
|  | 12,49 hp | 0,95 |

Fuente: Autor

#### 4.1.4 Cálculo del flujo másico del vapor (Real).

Para el inicio de los cálculos se tomó un flujo másico asumido, para la determinación real de este valor se procede a los cálculos, ya que en lo posterior se trabajará con este resultado.

$$mf_{vapor} = \frac{((P_{cal})(15,44)(h_{fg@25^{\circ}C})}{(h_{sal} - h_{ent})} \quad (\text{Ecuación 3})^{10}$$

$$mf_{vapor} = \frac{((12,20\text{hp})(15,44)(597,33 \text{ kcal/kg}))}{((649,91 \text{ kcal/kg} - 25,04 \text{ kcal/kg}))}$$

$$mf_{vapor} = 180,00 \text{ kg/h}$$

<sup>10</sup> Bernal Bolívar, Memorias de la Catedra de Operación de calderos, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca2008.

#### 4.1.5 Dimensionamiento de los tubos de humo.

Se realiza el dimensionamiento de los tubos después de obtener la potencia de diseño, la norma ASME sugiere diámetros entre 1,5” y 3” además de material refractario. Para el presente diseño se trabajará con tubería cedula 40 sin costura de 1,5 pulgadas por la facilidad de adquisición en el mercado nacional y bajo costo, sin dejar a un lado el análisis de esfuerzo respectivo.

Tabla 7 Características técnicas tubería ced 40, ASTM A53 Ø 1,5”.

| Diámetro Externo del Tubo<br>Dext |        | Radio externo del Tubo<br>rextt |         | Espesor del tubo<br>Et |         | Diámetro interno del Tubo<br>Dint |         | Esfuerzo admisible del tubo<br>smat |        |
|-----------------------------------|--------|---------------------------------|---------|------------------------|---------|-----------------------------------|---------|-------------------------------------|--------|
| mm                                | m      | mm                              | M       | mm                     | M       | Mm                                | m       | psi                                 | Mpa    |
| 48,3                              | 0,0483 | 24,15                           | 0,02415 | 3,68                   | 0,00368 | 40,94                             | 0,04094 | 60000                               | 413,69 |

Fuente: Catálogo de Tuberías DIPAC, pag 36.

- **Calculo del esfuerzo a la tensión en los tubos de humo.**

$\sigma_{mat}$  = Factor de Reducción esfuerzo de fluencia\* Esfuerzo Admisible del acero

$$\sigma_{mat} = (0,6) * (\sigma_{mat}) \quad (\text{Ecuación 4})^{11}$$

$$\sigma_{mat} = (0,6) * (413,69 \text{ Mpa})$$

$$\sigma_{mat} = 248,21 \text{ MPa}$$

- **Esfuerzo radial en los tubos de humo.**

$\sigma_r$  = (Presión de diseño\*Radio externo del tubo) / Espesor del tubo

$$\sigma_r = \frac{(P)(r)}{e} \quad (\text{Ecuación 5})^{12}$$

$$\sigma_r = \frac{(275,790292 \text{ kPa}/1000)(0,02415 \text{ m})}{0,00368 \text{ m}}$$

$$\sigma_r = 1,81 \text{ MPa}$$

<sup>11</sup> La norma API recomienda el factor 0,60 cuando el diseño refiere a condiciones de presión interna.

<sup>12</sup> Manual de recipientes a presión, Megyesy Eugene, 1992.

ASME recomienda:

“Si  $\sigma_{mat} > \sigma_r$  El tubo seleccionado cumple con el requerimiento del diseño”.

- **Longitud de los tubos.**

Se calcula mediante fórmulas experimentales basadas en la potencia.<sup>13</sup>

$$L_t = ((0,048) * (\text{Potencia de diseño})) + 0,3$$

$$L_t = ((0,048) * (\text{P. diseño})) + 0,3 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$L_t = ((0,048) * (12,20\text{ph})) + 0,3$$

$$L_t = 0,89 \text{ m}$$

- **Área de cada tubo.**

$$A_{cad.t} = (\pi) * (\text{Diámetro exterior}) * (\text{Longitud del tubo})$$

$$A_{cad.t} = (\pi) * (D_{ext}) * (L_t) \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$A_{cad.t} = (\pi) * (0,0483\text{m}) * (0,89\text{m})$$

$$A_{cad.t} = 0,134 \text{ m}^2$$

- **Área de calefacción.**

Esta varía de acuerdo al tipo de combustible, se determina en función de la potencia, se encuentran en varias fórmulas proporcionadas por las casas constructoras de calderas.

La ecuación que se recomienda es:

$$A = ((0,0465) * (\text{Presión de diseño})) - 0,004$$

---

<sup>13</sup> Bernal Bolívar, Memorias de la Catedra de Operación de calderos, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca 2008.

$$A_{calef} = ((0,0465) * (P. \text{diseño}))-0,004 \quad (\text{Ecuación 8})^{14}$$

$$A_{calef} = ((0,0465) * (12,20\text{hp}))-0,004$$

$$A_{calef} = 5,80 \text{ m}^2$$

- **Número de tubos.**

El número de tubos se determina mediante la fórmula experimental, dividiendo el área de calefacción por el área de cada tubo:

$$N_t = \frac{A_{calef}}{A_{cad.t}} \quad (\text{Ecuación 9})^{15}$$

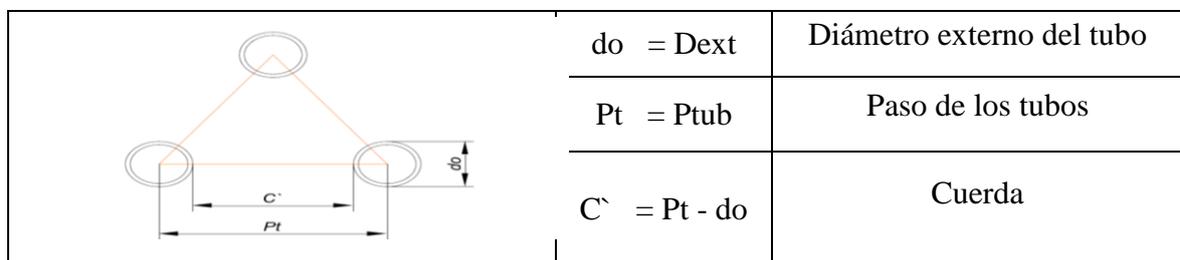
$$N_t = \frac{5,67\text{m}^2}{0,134\text{m}^2}$$

$$N_t = 42,00 \text{ tubos}$$

- **Distribución de los tubos.**

Se emplea la distribución tres bolillos (Triángulo equilátero), con una distancia entre tubos de 1,25 y 1,75 del diámetro exterior del tubo, esta distribución se emplea por ser la más eficiente al momento de transferir calor, se acepta una tolerancia del 5% en el paso.<sup>16</sup>

Figura 26. Distribución de los Tubos en el espejo del caldero.



Fuente: Autor

<sup>14</sup> Código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión pag.82.

<sup>15</sup>Bernal Bolívar, Cálculo del equipo, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca2006.

<sup>16</sup> Dispuesto por el código ASME 2010 para la construcción de calderas y recipientes a presión ejemplo de espaciado de tubos con orificios en líneas diagonales, pag.44.

- **Paso de los Tubos.**

$$Ptub = (1,5) * (\text{Diámetro exterior del tubo})$$

$$Ptub = (1,5) * (Dext) \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$Ptub = (1,5) * (48,3\text{mm})$$

$$Ptub = 72,45 \text{ mm}$$

- **Área de la sección transversal de cada tubo.**

$$Atub = \frac{\pi * \text{Diámetro exterior}^2}{4}$$

$$Atub = \frac{\pi * Dext^2}{4} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$Atub = \frac{\pi * 0,0483^2}{4}$$

$$Atub = 0,00183 \text{ m}^2$$

- **Volumen Total de los Tubos.**

$$Vtub = (\text{Área de la sección tranv. de cada tubo}) * (\text{Longitud del tubo}) * (\text{Número de tubos})$$

$$Vtub = (Atub) * (Lt) * (Nt) \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$Vtub = (0,00183 \text{ m}^2) * (0,89 \text{ m}) * (42,00)$$

$$Vtub = 0,07 \text{ m}^3$$

Tabla 8. Resultados del dimensionamiento de los tubos de humo.

|   |                       |        |
|---|-----------------------|--------|
| <b>Longitud de los tubos (Lt)</b>                         | 0,89 m                | 890 mm |
| <b>Área de cada tubo (Acad.t)</b>                         | 0,134 m <sup>2</sup>  |        |
| <b>Área de calefacción (Acalef)</b>                       | 5,67 m <sup>2</sup>   |        |
| <b>Número de tubos (Nt)</b>                               | 42 unidades           |        |
| <b>Paso de los Tubos (Ptub)</b>                           | 0.072 m               | 720 mm |
| <b>Área de la sección transversal de cada tubo (Atub)</b> | 0,00183m <sup>2</sup> |        |
| <b>Volumen total de los tubos (Vtub)</b>                  | 0,07 m <sup>3</sup>   |        |

Fuente: Autor

#### 4.1.6 Dimensionamiento del espejo, coraza, hogar y cota de vapor.

Para evitar soldaduras de planchas y que no existan soldaduras laterales innecesarias, es recomendable usar planchas completas de 1,22m x 2,44m o planchones de 1,50 x 6m. Los fabricantes de calderas recomiendan un diámetro de 1,06 m para calderos de hasta 100 hp, además de materiales refractarios resistentes al envejecimiento [16].

Para este diseño se seleccionó un acero naval debido a la bondad de sus propiedades, facilidad de adquisición en el mercado nacional, y bajo costo.

Tabla 9. Lamina de acero Naval, norma ASTM A131.

|                                  |         |        |
|----------------------------------|---------|--------|
| <b>Largo Plancha (Lp)</b>        | 6,0 m   |        |
| <b>Ancho Plancha (Ap)</b>        | 1,5 m   |        |
| <b>Espesor Plancha (Ep)</b>      | 0,012 m |        |
| <b>Esfuerzo Admisible (smat)</b> | psi     | Mpa    |
|                                  | 58000   | 399,90 |

Fuente: Catalogo de planchas Dipac 2015, pag. 22.

- **Espejo.**

Para establecer el diámetro del espejo, se traza un esquema previo partiendo del diámetro máximo recomendado, donde se represente el espejo del caldero conteniendo en su interior el número de tubos y paso calculados con la respectiva cota de vapor, también se proyecta el hogar de fuego, sin olvidar los espacios necesarios para el material refractario en las cámaras de fuego y deflectores. Para mayor agilidad se realiza en el software AutoCAD.

- **Cota de vapor saturado.**

Se recomienda un porcentaje del diámetro del espejo entre el 20 y 25%, para evitar que las salpicaduras de agua sean arrastradas junto con el vapor que ingresa hacia el sistema.<sup>17</sup>

En este diseño se utilizó el 22%.

<sup>17</sup> Bernal Bolívar, Memorias de la Catedra de Operación de calderos, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca2008

$$h_{vap} = \%Desp * Desp$$

(Ecuación 13)<sup>18</sup>

$$h_{vap} = (22\%) * (0,926 \text{ m})$$

$$h_{vap} = 0,204 \text{ m}$$

- **Vapor Saturado (Altura).**

$$Vg = (\%altevap) * (Desp)$$

(Ecuación 14)

$$Vg = (22\%) * (0,926\text{m})$$

$$Vg = 0,204 \text{ m}$$

$$Vg = 0,204 (100)$$

$$Vg = 20,4 \text{ cm}$$

- **Hogar.**

El diámetro del tubo para el hogar, debe estar entre el 40 y 45% del espejo, siempre debe de estar por encima de este por lo menos dos filas de tubos de humo. [16]

El espesor del material del hogar que recomiendan las casas fabricantes es de 10mm.

Para este proyecto se utilizó el 40%, con una tolerancia de 50 mm al diámetro final del hogar de fuego.

- **Diámetro del hogar.**

$$Dh = (\%Desp) * (Desp)$$

(Ecuación 15)<sup>19</sup>

$$Dh = (40) * (0,926 \text{ m})$$

$$Dh = 0,3704 \text{ m}$$

- **Radio del Hogar.**

$$rh = 0,16 \text{ m}$$

---

<sup>19</sup> Bernal Bolívar, Memorias de la Catedra de Operación de calderos, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Cuenca2008

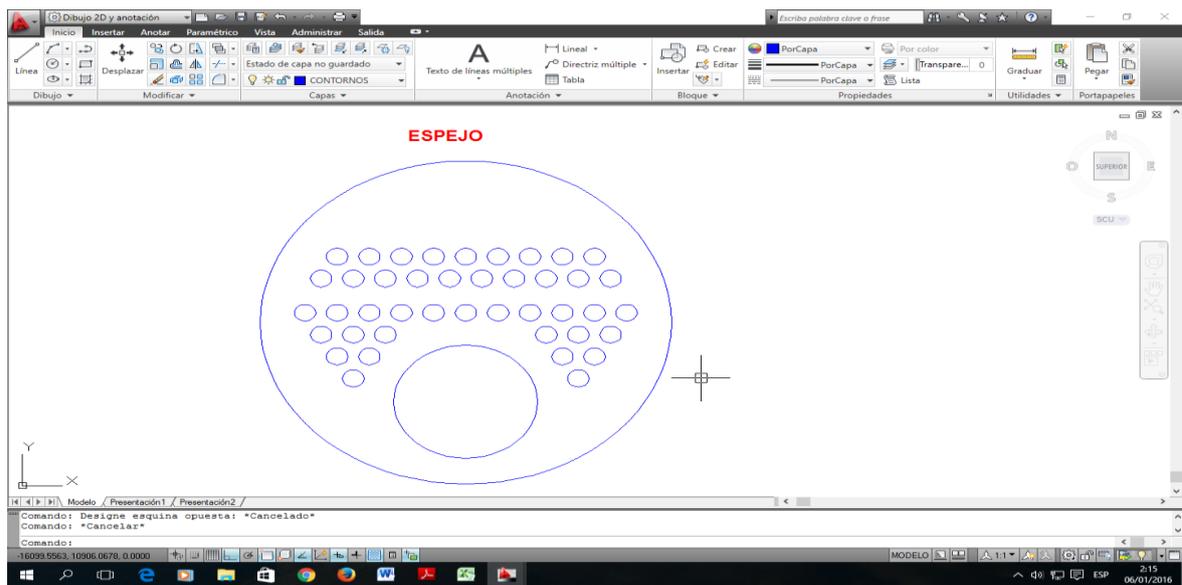
- **Longitud del Hogar.**

hh = Longitud de los tubos + Longitud de cámara de combustión.<sup>20</sup>

hh = 0,89m + 0,45m

hh = 1.335 m

Figura 27. Demostración AutoCAD



Fuente: Autor

Tabla 10. Datos de espejo y coraza.

| DESCRIPCION  | m      | mm     |
|--|--------|--------|
| <b>Diámetro del Espejo</b><br>Desp                                       | 0,926  | 926    |
| <b>Radio del Espejo</b><br>$resp = \frac{Desp}{2}$                       | 0,46   | 460    |
| <b>Perímetro de la Coraza (Fibra Neutra)</b><br>Pcora                    | 2.9468 | 2946,8 |
| <b>Diámetro medio de la Coraza (Fibra Neutra)</b><br>$Dcora = Desp + Ep$ | 0,938  | 938    |
| <b>Radio de la Coraza</b><br>$rcora = \frac{Dcora}{2}$                   | 0,469  | 469    |

Fuente: Autor

<sup>20</sup> Considerado por la persona que diseña el caldero.

- **Calculo del esfuerzo a la tensión en la coraza del caldero.**

Aplicando la ecuación 4:

$$\sigma_{mat} = (0,6) * (399,90 \text{ Mpa})$$

$$\sigma_{mat} = 239,94 \text{ Mpa}$$

- **Esfuerzo radial en la coraza del caldero.**

Retomando la ecuación 5:

$$\sigma_r = \frac{(P_{calfs}) * (resp)}{E_p}$$

$$\sigma_r = \frac{(275,790292 \text{ kPa} / 1000) * (0,46\text{m})}{0,012\text{m}}$$

$$\sigma_r = 10,64 \text{ Mpa}$$

Si  $\sigma_{mat} > \sigma_r$  El material seleccionado cumple con el requerimiento del diseño.

- **Calculo del esfuerzo a la tensión en las paredes del hogar.**

Tabla 11. Esfuerzo admisible tubería ced.40 ASTM A53 Ø12”.

| Esfuerzo Admisible de la tubería<br>S <sub>mat</sub> | psi | Mpa   |
|--|-----|-------|
|  |     | 60000 |

Fuente: Catálogo de Tuberías DIPAC, pag 36.

Aplicando la ecuación 4:

$$\sigma_{mat} = (0,6) * (413,69 \text{ Mpa})$$

$$\sigma_{mat} = 248,21 \text{ Mpa}$$

- **Esfuerzo Radial en las paredes del hogar.**

Aplicando la ecuación 5:

$$\sigma_r = s_r = \frac{(-275,790292 \text{ kPa} / 1000) * (0,16\text{m})}{0,012\text{m}}$$

$$\sigma_r = 3,68 \quad \text{Mpa}$$

Si  $\sigma_{mat} > \sigma_r$  El tubo seleccionado cumple con el requerimiento del diseño.

- **Volumen del hogar.**

Se considera el volumen que comprende entre los espejos del caldero, por lo tanto, la longitud para el cálculo es la misma de los tubos de humo.

$$V_h = \frac{(\pi * D_h^2)}{4} * L_t \quad \text{(Ecuación 16)}$$

$$V_h = \frac{(\pi * 0,3704\text{m}^2)}{4} * 0,89$$

$$V_h = 0,10 \text{ m}^3$$

#### 4.1.7 Cálculo del volumen de acumulación de vapor.

- **Volumen total del cilindro del cuerpo.**

$$V_c = \frac{\pi * D_{esp}^2}{4 * L_t}$$

$$V_c = \frac{\pi * 0,926\text{m}^2}{4 * 0,89\text{m}}$$

$$V_c = 0,61 \text{ m}^3$$

- **Volumen interno del cilindro del cuerpo.**

Del volumen total del cuerpo del cilindro (espacio comprendido entre espejos), se resta el volumen de los tubos de humo y hogar.

$$V_{int} = V_c - V_h - V_{ttub} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$V_{int} = 0,61\text{m}^3 - 0,10 - \text{m}^3 - 0,07 - \text{m}^3$$

$$V_{int} = 0,44\text{m}^3$$

- **Volumen de vapor saturado.**

Corresponde al espacio donde se lleva a cabo el cambio de fase de agua a vapor, es aquí donde se acumulará vapor para el consumo en cualquier proceso termodinámico. Para proceder al cálculo, primeramente, se determinó el área del vapor saturado ( $A_{vsat}$ ) con los valores de altura de cota y longitud de los tubos de humo.

$$S = \sqrt{8h_{vap} \left( \text{resp} - \frac{h_{vap}}{2} \right)} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$S = \sqrt{8 \cdot 0,204\text{m} \left( 0,46\text{m} - \left( \frac{0,204\text{m}}{2} \right) \right)}$$

$$S = 0,77 \text{ m}$$

$$A_{vsat} = \frac{h_{vap}}{6 \cdot S} (3h_{vap}^2 + 4S^2) \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$A_{vsat} = \left( \frac{0,204}{6 \cdot 0,77} \right) \left( (3 \cdot 0,204^2) + (4 \cdot 0,77^2) \right)$$

$$A_{vsat} = 0,11\text{m}^2$$

- **Volumen de líquido Saturado.**

$$V_{lsat} = V_{inter} - V_{vsat} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$V_{\text{sat}} = 0,44\text{m}^2 \cdot 0,0987\text{m}$$

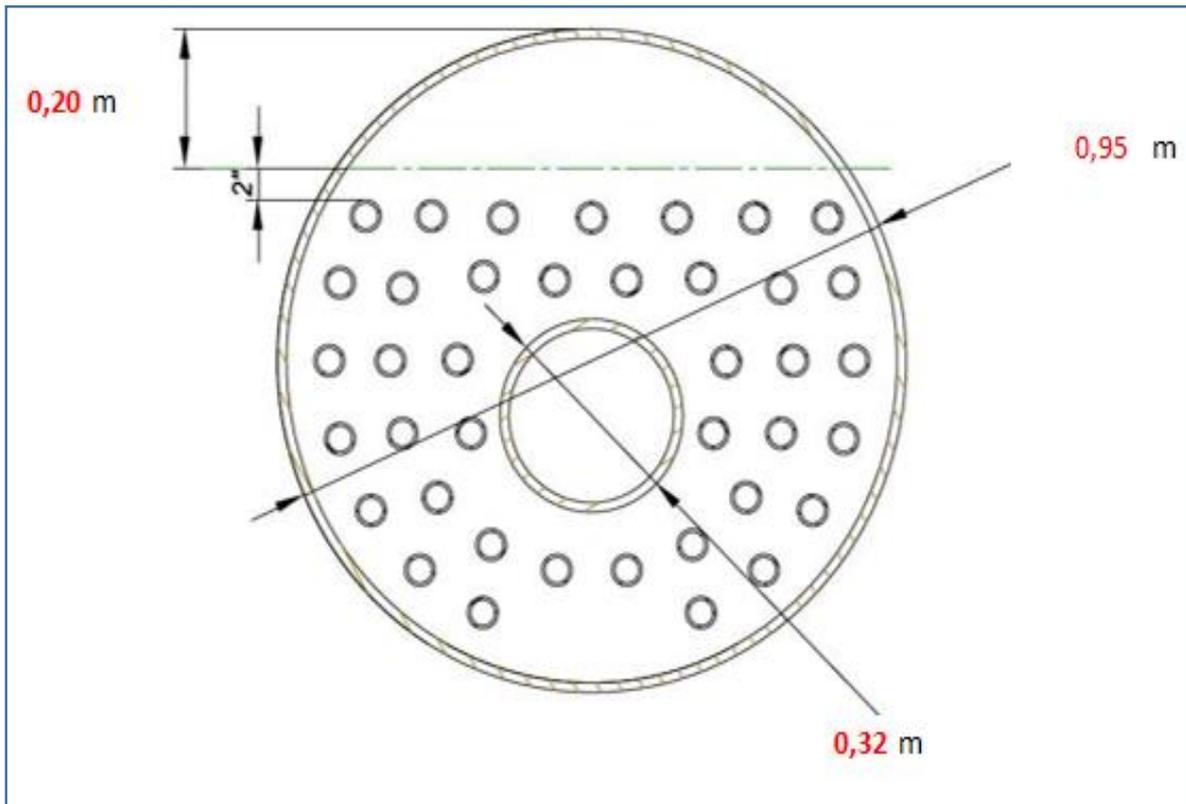
$$V_{\text{sat}} = 0,34 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{sat}} = 0,34 (1000)$$

$$V_{\text{sat}} = 341 \text{ lt}$$

|  |        |
|--|--------|
| <b>Cantidad de Agua que debe entrar al caldero</b> | 341 lt |
|--|--------|

Figura 28 Espejo del caldero



Fuente: Autor

#### 4.1.8 Dimensionamiento del tanque de abastecimiento de agua.

El tanque debe abastecer a la caldera por un lapso de 20 minutos a flujo constante.

Tabla 12. Requerimientos de Cálculo

| <b>Tiempo de duración del trabajo de la bomba de agua</b><br>td | <b>min</b>             | <b>h</b> |
|---|------------------------|----------|
|   | 20                     | 0,333    |
| <b>Densidad Agua</b><br>dag                                     | 1000 kg/m <sup>3</sup> |          |

Fuente: Autor

- **Caudal Volumétrico.**

Se calcula entre los valores del flujo másico que generara la caldera y la densidad del agua a temperatura ambiente a una atmósfera de presión.

$$Q_{ag} = \frac{mf_{vapor}}{\rho_{ag}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$Q_{ag} = \frac{180 \text{ kg/h}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$Q_{ag} = 0,18 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Volumen de Agua Requerido.**

$$V_{ag} = (Q_{ag}) \cdot (td) \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$V_{ag} = (0,18 \text{ m}^3/\text{h}) \cdot (0,333 \text{ h})$$

$$V_{ag} = 0,060 \text{ m}^3$$

- **Volumen del Tanque.**

El volumen de agua requerido se toma como un setenta por ciento del total del volumen del tanque de abasto que se va a dimensionar.

$$V_{tank} = \frac{V_{ag}}{0,7} \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$V_{tank} = \frac{0,060 \text{ m}^3}{0,7}$$

$$V_{tank} = 0,086 \text{ m}^3 \approx 22,6 \text{ galones}$$

- **Diámetro del Tanque.**

La relación entre diámetro y longitud es de 1:3. Entonces de la ecuación del volumen se despeja el diámetro obteniendo la fórmula:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{3\pi}} \quad (\text{Ecuación } 24)^{21}$$

$$d_{\text{tank}} = \sqrt[3]{\frac{(4)(V_{\text{tank}})}{(3)(\pi)}}$$

$$d_{\text{tank}} = \sqrt[3]{\frac{(4)(0,086 \text{ m}^3)}{(3)(\pi)}}$$

$$d_{\text{tank}} = 0,33 \text{ m}$$

- **Longitud del Tanque.**

Como se mencionó anteriormente, el diámetro se triplica para obtener el valor de la longitud.

$$L_{\text{tank}} = (3)(D_{\text{tank}})$$

$$L_{\text{tank}} = 0,994 \text{ m}$$

#### **4.1.9 Análisis del flujo en la tubería de alimentación de agua desde el tanque hasta la caldera, según Reynolds.**

Permite determinar si un fluido es laminar o turbulento al interior de la tubería, este valor es un número adimensional.

---

<sup>21</sup> Esta fórmula resulta despejando D en la fórmula de volumen.

Tabla 13. Datos previos al análisis de flujo.

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Diámetro Interior del Tubo.</b></p> <p>Se consideran medidas de una tubería roscada ISO galvanizada de 1¼ pulgadas de diámetro interno.</p> <p><math>D_{intub} = 1,25\text{pulg} = 0.032\text{m}</math></p> | <p><b>Viscosidad del Agua a 27°C (<math>\mu</math>)</b></p> <p><math>\nu_{ag} = 0,00089575^{22}</math></p> |
|---|--|

Fuente: Autor

- **Área interior del tubo.**

$$A_{intub} = \frac{\pi * D_{intub}^2}{4}$$

$$A_{intub} = \frac{\pi * 0,032\text{m}^2}{4}$$

$$A_{intub} = 0,00079 \text{ m}^2$$

- **Velocidad del Agua.**

$$V_{ag} = \frac{Q_{ag}}{A_{intub}}$$

$$V_{ag} = \frac{0,18\text{m}^3/\text{h}}{0,00079 \text{ m}^2}$$

$$V_{ag} = 227,350 \text{ m/h}$$

- **Número de Reynolds.**

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad (\text{Ecuación 25})^{23}$$

$$Re = \frac{(0,032\text{m})(0,063\text{m/s})(1000\text{kg/m}^3)}{0,00089575}$$

<sup>22</sup>Tomado de la tabla 9.2 Viscosidad de líquidos y gases (Interpolando), Maquinas Prontuario, Autor: Nicolás Larburu Pag.: 58

<sup>23</sup> [www.wikipedia.com/númerodeReynolds](http://www.wikipedia.com/númerodeReynolds).

Re= 2238,46

Argumentamos que nuestro flujo es laminar ya que la teoría resume: “Si el número de Reynolds es menor que 2300, el flujo es laminar, caso contrario es turbulento”.

#### 4.1.10 Selección de la bomba de agua.

Conociendo la presión de trabajo de la caldera y el flujo necesario (Caudal Volumétrico), se duplica los valores para garantizar la potencia que requiere la bomba. [17]

\*Para obtener presión total en metros, se multiplica la presión total en pies por 0,3048. Para 231 pies de presión = 70,4 m de presión = 100 libras por pulgada cuadrada (psi).<sup>24</sup>

Tabla 14. Datos para selección de bomba en diagrama (Conversión de unidades).

|                                      |                        |                 |          |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------|----------|
| <b>Presión de trabajo</b><br>(Ptrab) | 40 psi                 | 92.4 ft (pies)  | 28,16 m  |
|                                      | 80 psi                 | 184,8 ft (pies) | 56,32 m  |
| <b>Caudal volumétrico</b><br>(Qag)   | 0.18 m <sup>3</sup> /h | 3 lt/min        | 0,79 GPM |
|                                      | 0.36 m <sup>3</sup> /h | 6 lt/min        | 1,58 GPM |

Fuente: <http://www.agualatinoamerica.com>

Con los valores de la tabla, se determina la potencia en el diagrama de potencia de bombas centrifugas (anexo 7).

De acuerdo al diagrama, la potencia requerida es de 1,5hp. Que en bombas Pedrollo corresponden a modelo PKm 100 (ver anexo 8).

#### 4.1.11 Selección del quemador a diésel.

En la actualidad los fabricantes de quemadores para calderas, ofertan modelos de acuerdo a los caballos caldera que se requiera. Para el presente diseño de 12,49 hp = 0,94 hp caldera recurrimos a “Termal Combustion” representante de la marca “Riello”, el cual oferta varios modelos, de los cuales se seleccionó el 40 SG3 (ver anexo 9).

<sup>24</sup> [www.agualatinoamerica.com](http://www.agualatinoamerica.com)

#### **4.1.12 Selección de los elementos de accionamiento y seguridad.**

La selección de los elementos de accionamiento y seguridad se basa en la presión de trabajo de la caldera.

- **Válvula de seguridad.**

Espiraxarco recomienda que con el valor del flujo másico y la presión de trabajo 40 psi más el incremento del 10% (44psi) se determine la presión de tara (3,036 bar) y se seleccione la válvula. En el anexo 10 se puede apreciar que corresponde a una válvula tamaño modelo 20/32, esta soporta un flujo mínimo de 180 y máximo de 406.

- **Control de presión (Presostato)**

Para la correcta selección del presostato, se debe de tener en claro los valores necesarios de presión máxima (40psi = 276 KPa) y mínima (30 psi = 207KPa) de trabajo, el primer valor será la presión que debe de soportar nuestro dispositivo sin que se vea afectada su integridad física, mientras que la combinación de estos será nuestro rango de presión diferencial. Establecidos estos valores seleccionamos el modelo L404F1078. (ver anexo 11).

- **Control de nivel de agua**

La marca reconocida McDonell&Miller oferta una amplia gama de modelos, sin embargo, en el mercado nacional para calderas de baja presión, limita a seleccionar básicamente tres modelos:

- McDonell&Miller 150S sin visor de nivel (150 Psi máx.).
- McDonell&Miller 157S con visor de nivel incorporado. (150 Psi máx.).
- McDonell&Miller 63 sin visor de nivel (50 Psi máx.).

Para lo cual se procedió a seleccionar el modelo 157S, por su diseño compacto y características técnicas, ya que nuestra caldera es de pequeñas dimensiones. (Ver Anexo 12)

Tabla 15 Datos técnicos de la caldera diseñada.

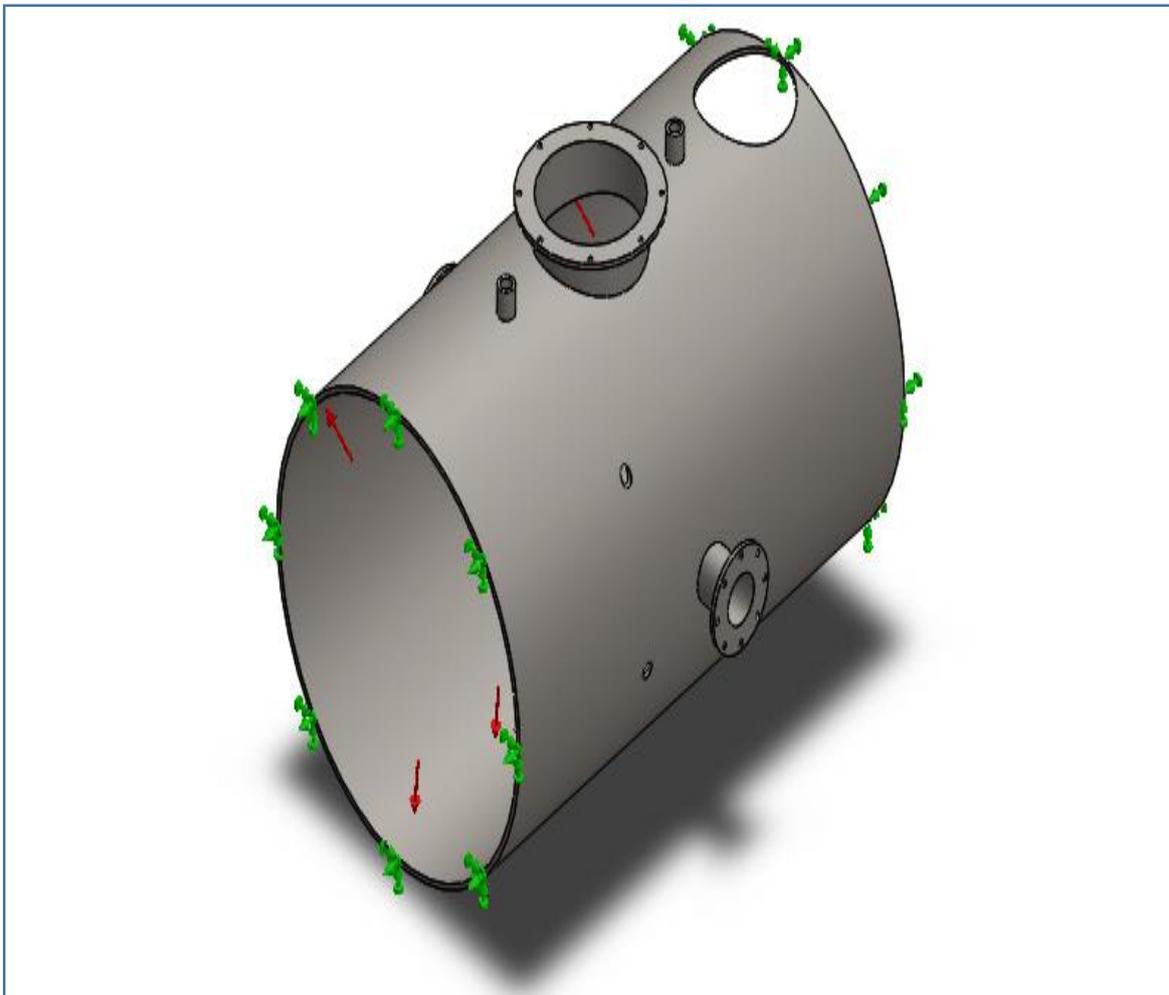
|                    |             |                           |             |
|--------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| <b>Tipo</b>        | Pirotubular | <b>Potencia</b>           | 12,5 hp     |
| <b>Modelo</b>      | Horizontal  | <b>Caudal Másico</b>      | 180,00 kg/h |
| <b>Combustible</b> | Diésel      | <b>Presión de Trabajo</b> | 40 Psi      |
| <b>Procedencia</b> | Ecuador     | <b>Temperatura Max.</b>   | 130 °C      |

Fuente: Autor.

#### 4.1.13 Simulación del Equipo.

- **Análisis de pandeo en el cuerpo del caldero.**

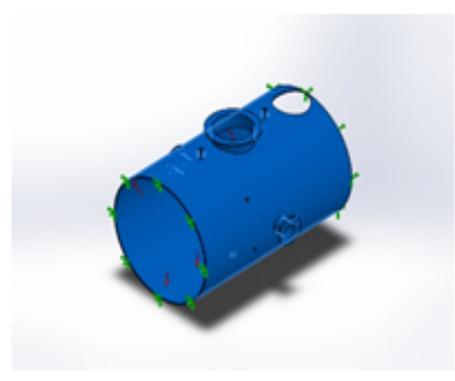
Figura 29. Cuerpo del caldero con cargas aplicadas.



Fuente: Autor.

- **Propiedades mecánicas del Material.**

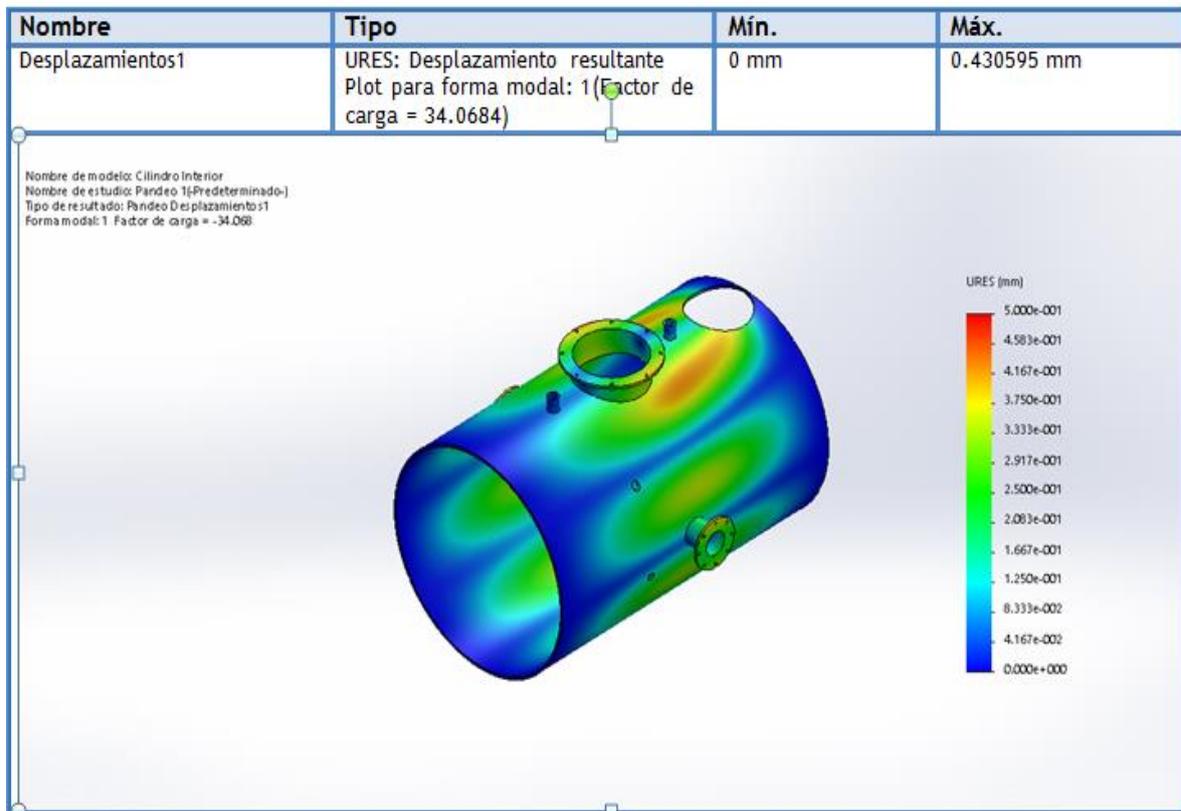
Tabla 16. Propiedades mecánicas del material para la coraza del caldero.

| Referencia de modelo  | Propiedades   |
|---|---|
|  | Nombre: ASTM A36 Acero  |
|   | Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                    |
|   | Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises |
|   | Límite elástico: $2.5e+008 \text{ N/m}^2$                     |
|   | Límite de tracción: $4e+008 \text{ N/m}^2$                    |
|   | Densidad: $7850 \text{ kg/m}^3$                               |
|   | Módulo elástico: $2e+011 \text{ N/m}^2$                       |
|   | Coefficiente de Poisson: 0.26                                 |

Fuente: Autor.

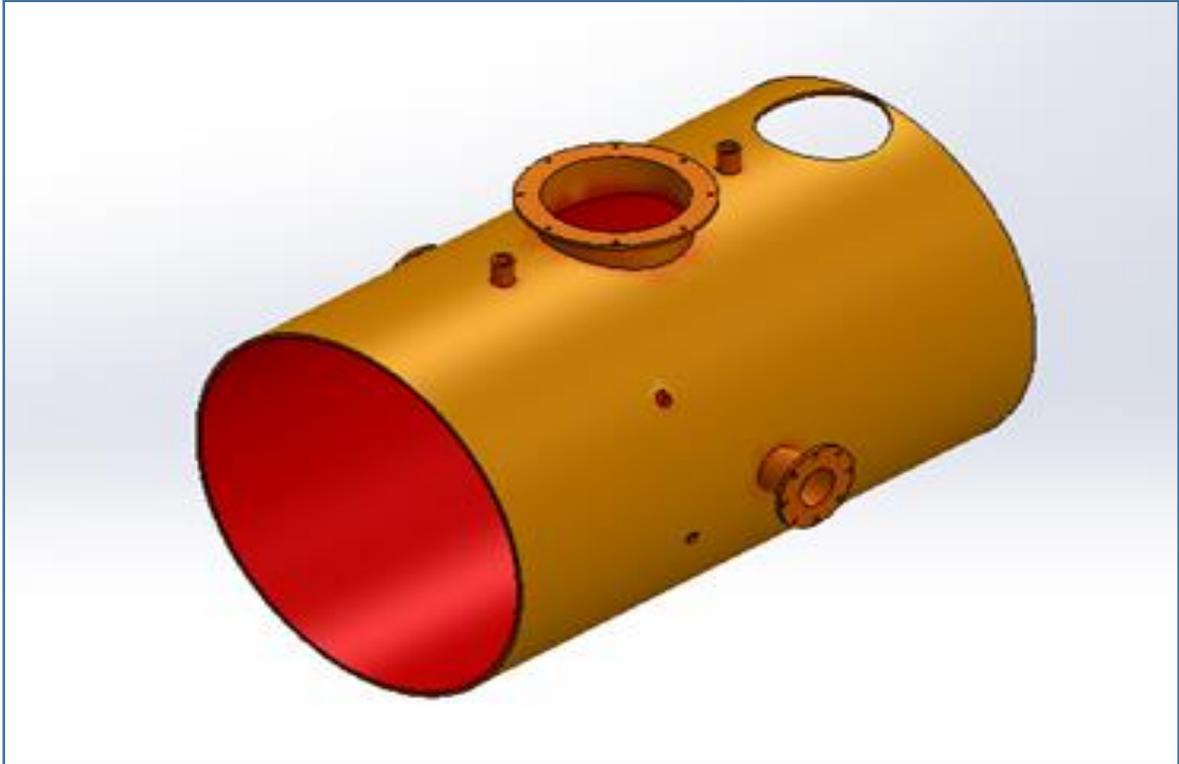
- **Resultado.**

Figura 30. Resultado del análisis de pandeo en el cuerpo del caldero.



Fuente: Autor.

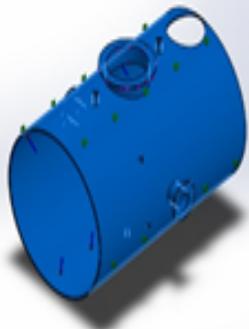
- **Análisis térmico en el cuerpo del caldero.**



Fuente: Autor.

- **Propiedades térmicas del material.**

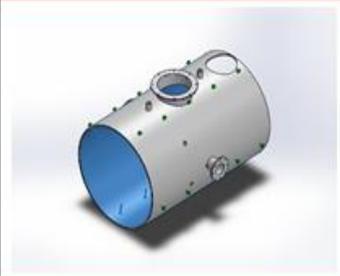
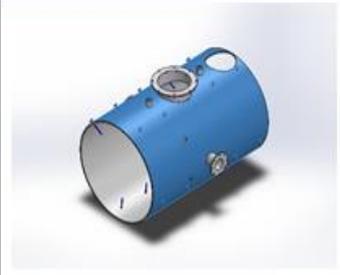
Tabla 17. Propiedades térmicas del acero para la coraza del caldero.

| Referencia de modelo  | Propiedades   |
|---|---|
|  | Nombre: ASTM A36 TERMICO                                      |
|   | Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                    |
|   | Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises |
|   | Conductividad térmica: 51.9 W/(m.K)                           |
|   | Calor específico: 486 J/(kg.K)                                |
|   | Densidad: 7850 kg/m <sup>3</sup>                              |

Fuente: Autor.

- **Cargas Térmicas.**

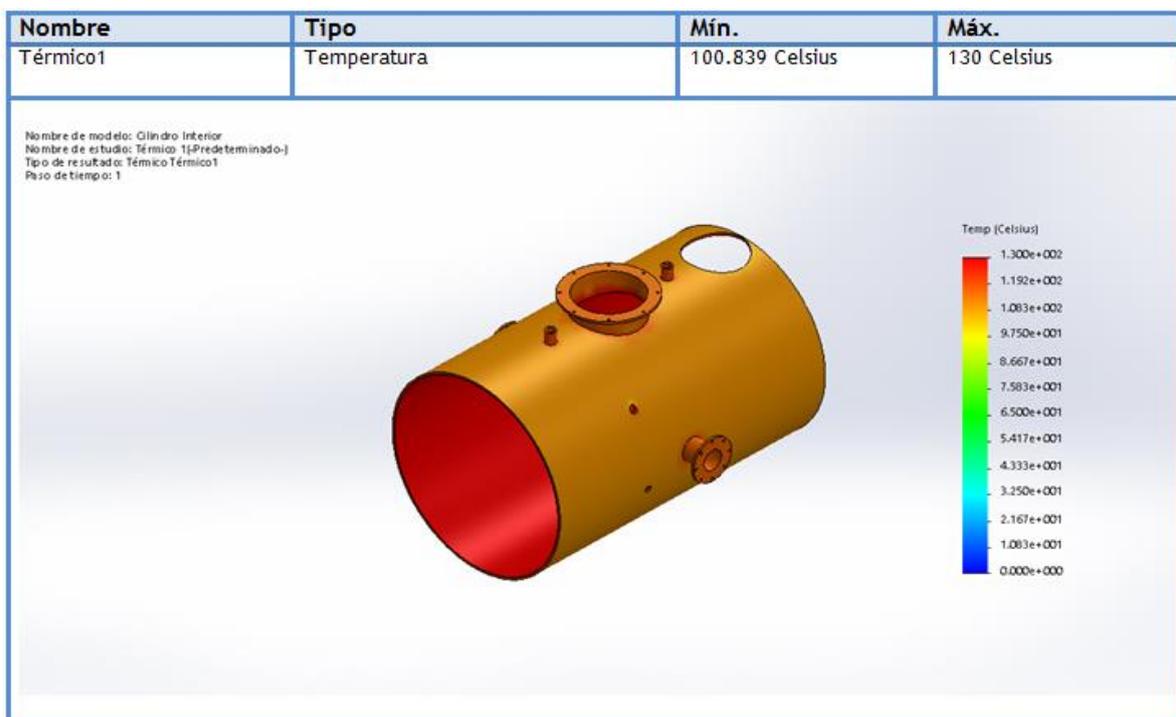
Tabla 18. Cargas térmicas aplicadas a la coraza del caldero.

| Nombre de carga             | Cargar imagen  | Detalles de carga   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
|-----------------------------|--|---|------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|------------|---------------------------|------------|-----------------------|------------|----------------------|------------|
| Temperatura-1               |   | <table border="1"> <tr> <td>Entidades:</td> <td>1 cara(s)</td> </tr> <tr> <td>Temperatura:</td> <td>130 Celsius</td> </tr> </table>   | Entidades: | 1 cara(s) | Temperatura:                | 130 Celsius                |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Entidades:                  | 1 cara(s)  |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Temperatura:                | 130 Celsius  |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Convección-1                |  | <table border="1"> <tr> <td>Entidades:</td> <td>1 cara(s)</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de convección:</td> <td>1000 W/(m<sup>2</sup>.K)</td> </tr> <tr> <td>Variación de tiempo:</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Variación de temperatura:</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Temperatura ambiente:</td> <td>298 Kelvin</td> </tr> <tr> <td>Variación de tiempo:</td> <td>Desactivar</td> </tr> </table> | Entidades: | 1 cara(s) | Coefficiente de convección: | 1000 W/(m <sup>2</sup> .K) | Variación de tiempo: | Desactivar | Variación de temperatura: | Desactivar | Temperatura ambiente: | 298 Kelvin | Variación de tiempo: | Desactivar |
| Entidades:                  | 1 cara(s)  |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Coefficiente de convección: | 1000 W/(m <sup>2</sup> .K)   |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Variación de tiempo:        | Desactivar   |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Variación de temperatura:   | Desactivar   |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Temperatura ambiente:       | 298 Kelvin   |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |
| Variación de tiempo:        | Desactivar   |   |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |            |                      |            |

Fuente: Autor.

- **Resultado.**

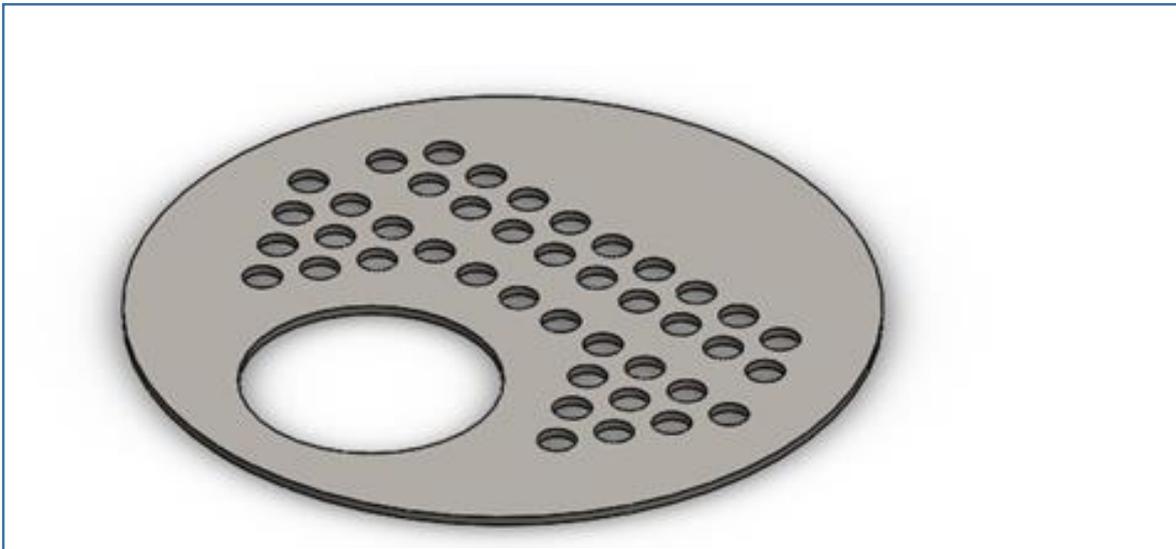
Tabla 19 Resultado del análisis térmico en el cuerpo del caldero.



Fuente: Autor.

- **Análisis de pandeo en los espejos del caldero.**

Figura 31. Espejo del caldero 3D.



Fuente: Autor.

- **Propiedades mecánicas del material.**

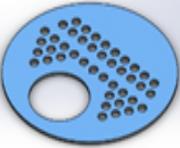
Tabla 20. Propiedades mecánicas del material de los espejos del caldero.

| Referencia de modelo  | Propiedades   |
|---|---|
|  | Nombre: ASTM A36 Acero  |
|   | Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                    |
|   | Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises |
|   | Límite elástico: 2.5e+008 N/m <sup>2</sup>                    |
|   | Límite de tracción: 4e+008 N/m <sup>2</sup>                   |
|   | Densidad: 7850 kg/m <sup>3</sup>                              |
|   | Módulo elástico: 2e+011 N/m <sup>2</sup>                      |
|   | Coeficiente de Poisson: 0.26                                  |

Fuente: Autor.

- **Cargas.**

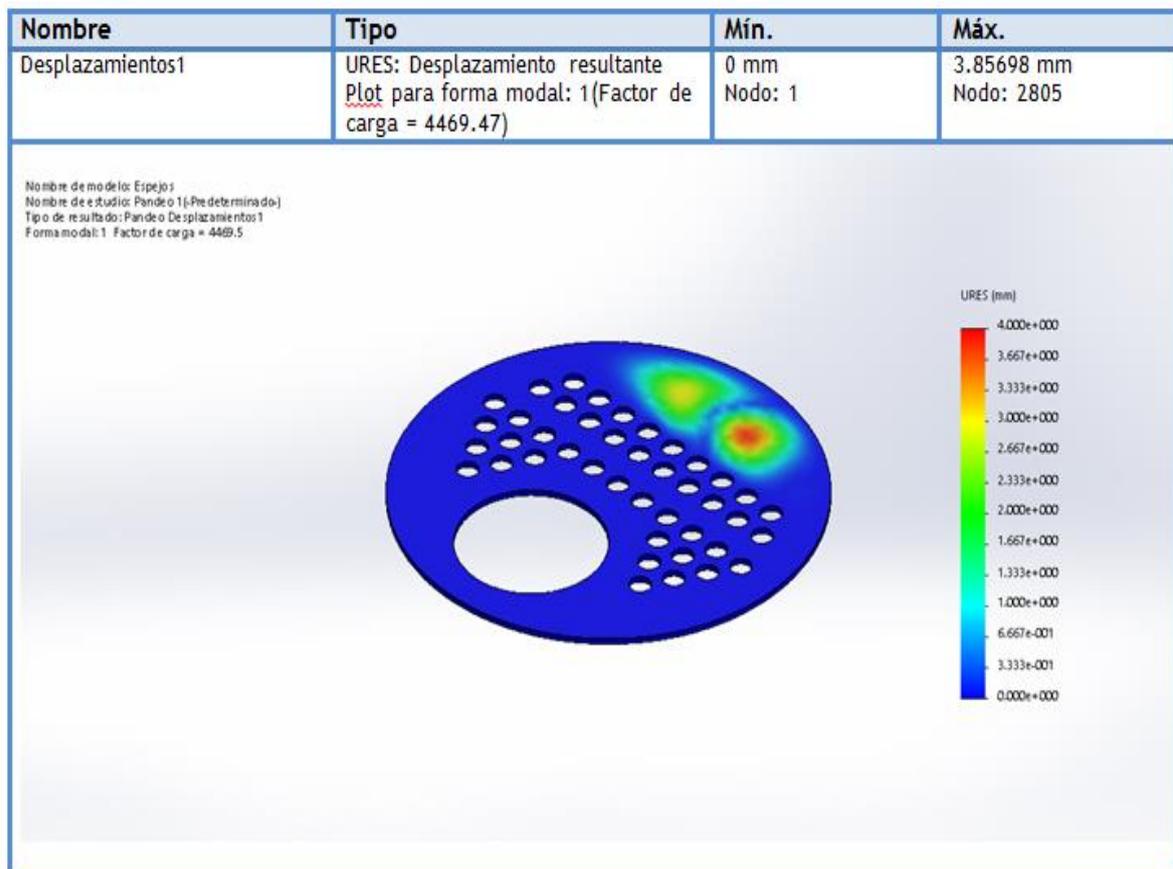
Tabla 21. Cargas aplicadas a los espejos del caldero.

| Nombre de carga | Cargar imagen   | Detalles de carga  |
|-----------------|---|--|
| Presión-2       |  | Entidades: 1 cara(s)<br>Tipo: Normal a cara seleccionada<br>Valor: 40<br>Unidades: psi<br>Angulo de fase: 0<br>Unidades: deg |

Fuente: Autor.

- **Resultado.**

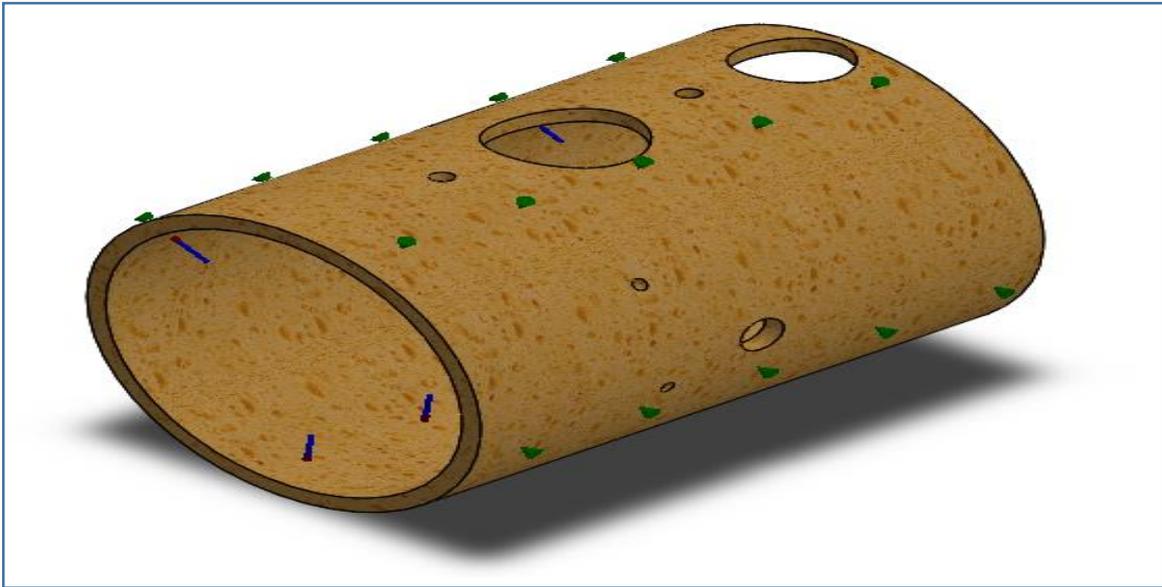
Tabla 22. Resultado del análisis de pandeo en los espejos del caldero.



Fuente: Autor

- **Análisis Térmico del Material Aislante de calor.**

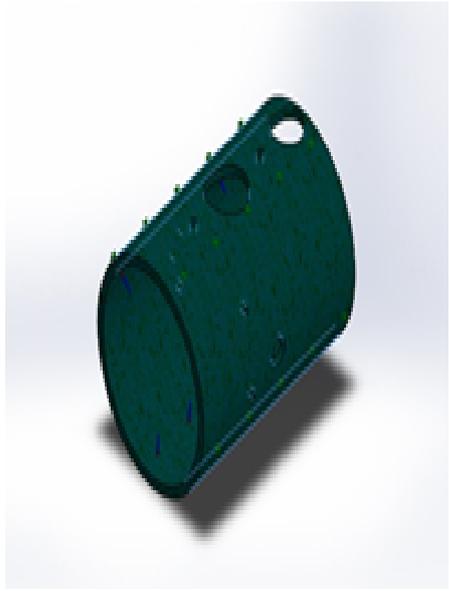
Figura 32 Recubrimiento térmico del caldero.



Fuente: Autor.

- **Propiedades Térmicas.**

Tabla 23 Propiedades térmicas del material aislante.

| Referencia de modelo  | Propiedades   |
|---|---|
|  | Nombre: Lana de Vidrio  |
|   | Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                    |
|   | Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises |
|   | Conductividad térmica: 0.045 W/(m.K)                          |
|   | Densidad: 35 kg/m <sup>3</sup>                                |

Fuente: Autor.

- **Cargas Térmicas.**

Tabla 24 Cargas térmicas aplicadas al aislante de calor.

| Nombre de carga             | Cargar imagen   | Detalles de carga  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
|-----------------------------|---|--|------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|------------|---------------------------|------------|-----------------------|---------------|----------------------|------------|
| Temperatura-1               |  | <table border="1"> <tr> <td>Entidades:</td> <td>1 cara(s)</td> </tr> <tr> <td>Temperatura:</td> <td>110 Celsius</td> </tr> </table>  | Entidades: | 1 cara(s) | Temperatura:                | 110 Celsius                |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Entidades:                  | 1 cara(s)   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Temperatura:                | 110 Celsius   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Convección-1                |  | <table border="1"> <tr> <td>Entidades:</td> <td>1 cara(s)</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de convección:</td> <td>1000 W/(m<sup>2</sup>.K)</td> </tr> <tr> <td>Variación de tiempo:</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Variación de temperatura:</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Temperatura ambiente:</td> <td>300.01 Kelvin</td> </tr> <tr> <td>Variación de tiempo:</td> <td>Desactivar</td> </tr> </table> | Entidades: | 1 cara(s) | Coefficiente de convección: | 1000 W/(m <sup>2</sup> .K) | Variación de tiempo: | Desactivar | Variación de temperatura: | Desactivar | Temperatura ambiente: | 300.01 Kelvin | Variación de tiempo: | Desactivar |
| Entidades:                  | 1 cara(s)   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Coefficiente de convección: | 1000 W/(m <sup>2</sup> .K)  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Variación de tiempo:        | Desactivar  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Variación de temperatura:   | Desactivar  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Temperatura ambiente:       | 300.01 Kelvin   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Variación de tiempo:        | Desactivar  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |

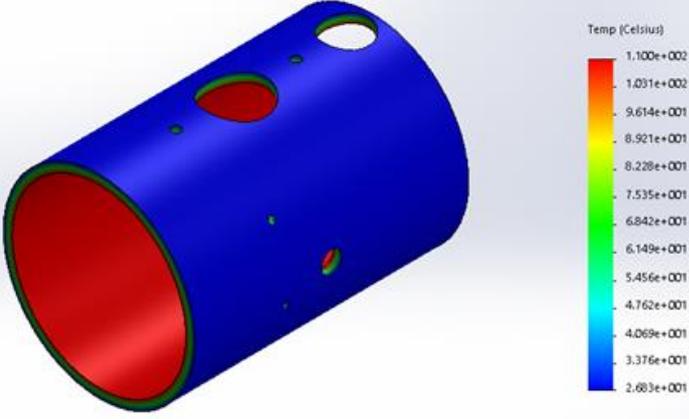
Fuente: Autor.

- **Resultado.**

Tabla 25 Resultado del análisis térmico del aislante del caldero.

| Nombre   | Tipo              | Mín.            | Máx.        |
|----------|-------------------|-----------------|-------------|
| Térmico1 | TEMP: Temperatura | 26.8329 Celsius | 110 Celsius |

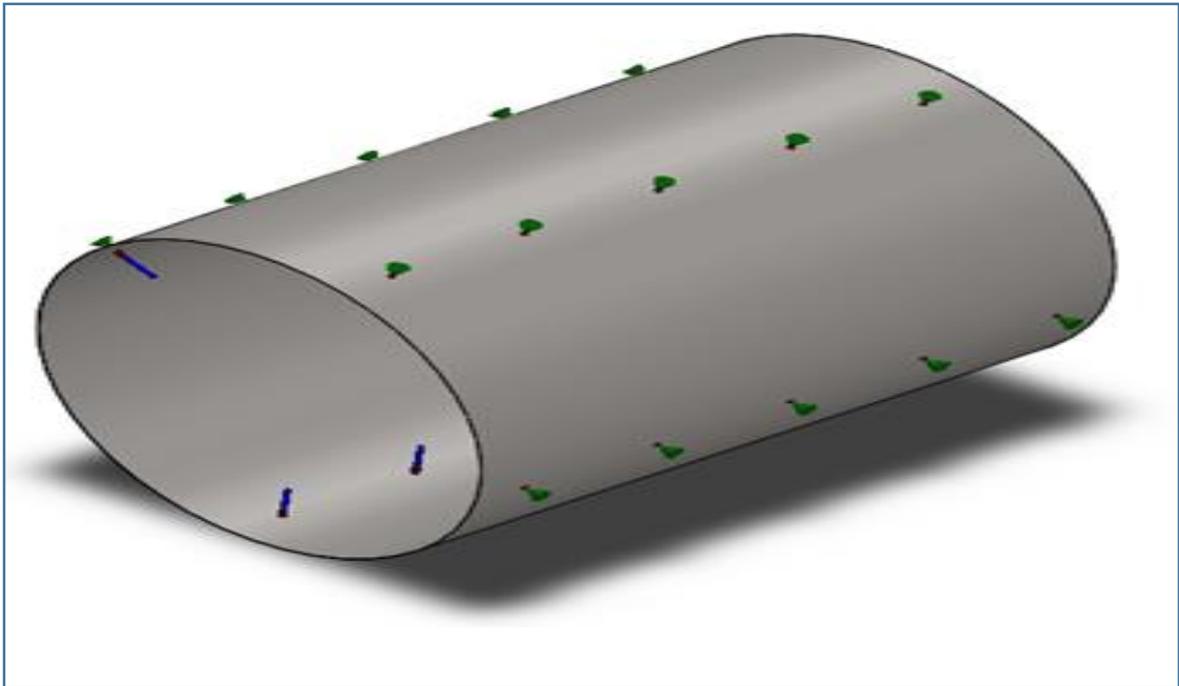
Nombre de modelo: temperatura lana de vidrio  
 Nombre de estudio: Térmico 1(Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Térmico1  
 Paso de tiempo: 1



Fuente: Autor.

- **Análisis térmico en la chaqueta exterior del caldero.**

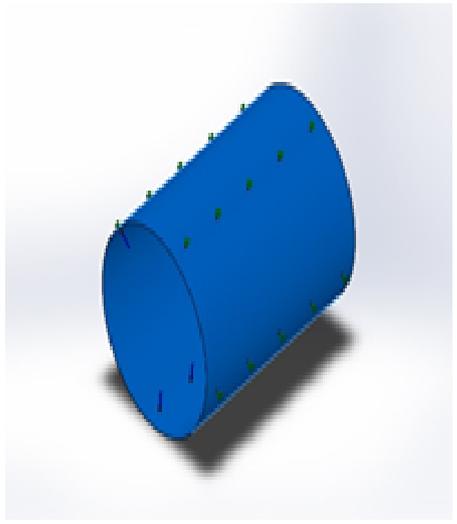
Figura 33 Chaqueta externa del caldero.



Fuente; Autor,

- **Propiedades Térmicas del material.**

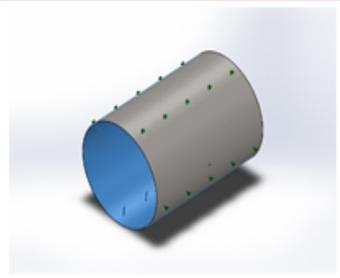
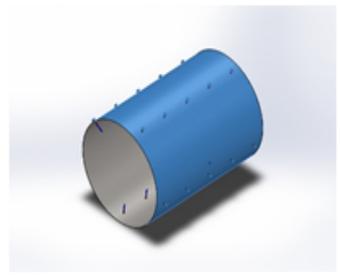
Tabla 26 Propiedades térmicas de la chaqueta externa del caldero.

| Referencia de modelo  | Propiedades                       |                             |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|
|  | Nombre:                           | AISI 304                    |
|   | Tipo de modelo:                   | Isotrópico elástico lineal  |
|   | Criterio de error predeterminado: | Tensión máxima de von Mises |
|   | Conductividad térmica:            | 16 W/(m.K)                  |
|   | Calor específico:                 | 500 J/(kg.K)                |
|   | Densidad:                         | 8000 kg/m <sup>3</sup>      |

Fuente: Autor.

- **Cargas Térmicas.**

Tabla 27 Cargas térmicas aplicadas a la chaqueta externa del caldero.

| Nombre de carga             | Cargar imagen  | Detalles de carga  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
|-----------------------------|--|--|------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|------------|---------------------------|------------|-----------------------|---------------|----------------------|------------|
| Temperatura-1               |   | <table border="1"> <tr> <td>Entidades:</td> <td>1 cara(s)</td> </tr> <tr> <td>Temperatura:</td> <td>26.93 Celsius</td> </tr> </table>  | Entidades: | 1 cara(s) | Temperatura:                | 26.93 Celsius              |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Entidades:                  | 1 cara(s)  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Temperatura:                | 26.93 Celsius  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Convección-1                |  | <table border="1"> <tr> <td>Entidades:</td> <td>1 cara(s)</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de convección:</td> <td>1000 W/(m<sup>2</sup>.K)</td> </tr> <tr> <td>Variación de tiempo:</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Variación de temperatura:</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Temperatura ambiente:</td> <td>300.01 Kelvin</td> </tr> <tr> <td>Variación de tiempo:</td> <td>Desactivar</td> </tr> </table> | Entidades: | 1 cara(s) | Coefficiente de convección: | 1000 W/(m <sup>2</sup> .K) | Variación de tiempo: | Desactivar | Variación de temperatura: | Desactivar | Temperatura ambiente: | 300.01 Kelvin | Variación de tiempo: | Desactivar |
| Entidades:                  | 1 cara(s)  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Coefficiente de convección: | 1000 W/(m <sup>2</sup> .K)   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Variación de tiempo:        | Desactivar   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Variación de temperatura:   | Desactivar   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Temperatura ambiente:       | 300.01 Kelvin  |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |
| Variación de tiempo:        | Desactivar   |  |            |           |                             |                            |                      |            |                           |            |                       |               |                      |            |

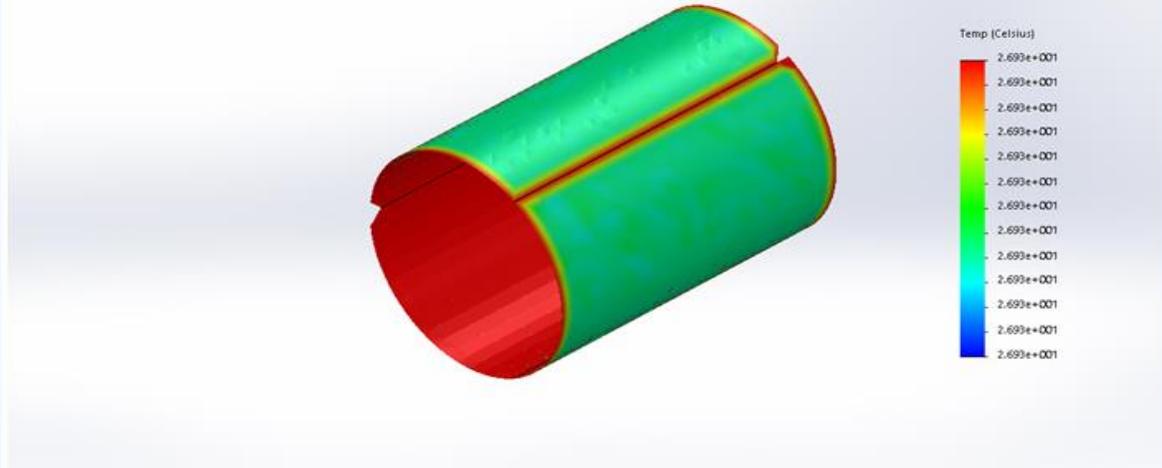
Fuente: Autor.

- **Resultado.**

Tabla 28. Resultado del análisis térmico a la chaqueta exterior del caldero.

| Nombre   | Tipo              | Mín.            | Máx.          |
|----------|-------------------|-----------------|---------------|
| Térmico1 | TEMP: Temperatura | 26.9283 Celsius | 26.93 Celsius |

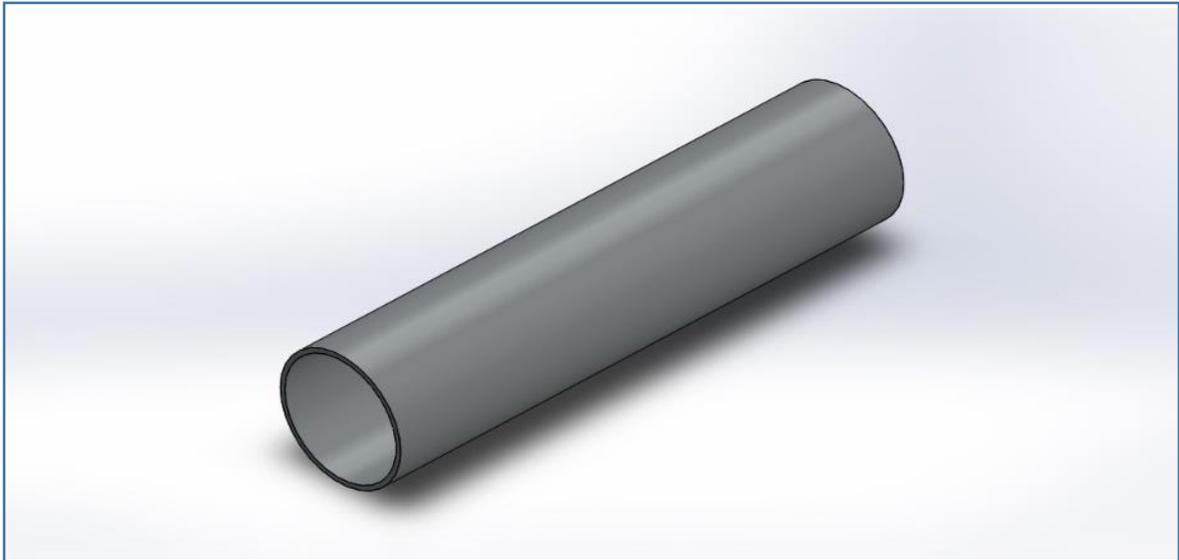
Nombre de modelo: Térmico chaqueta inoxidable  
 Nombre de estudio: Térmico 1-(Predeterminado)  
 Tipo de resultado: Térmico Térmico1  
 Paso de tiempo: 1



Fuente: Autor.

- **Análisis de pandeo en el hogar del caldero.**

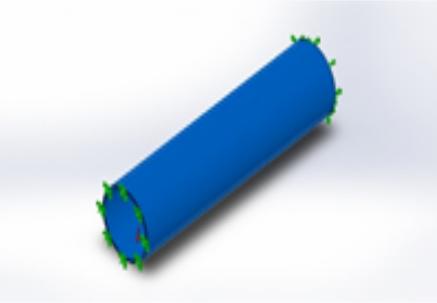
Figura 34 Hogar del caldero.



Fuente: Autor.

- **Propiedades mecánicas del material.**

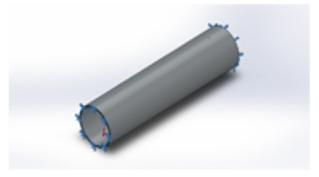
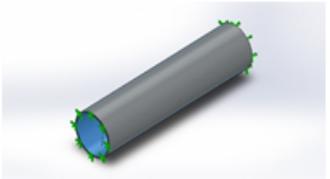
Tabla 29 Propiedades térmicas del material para el hogar.

| Referencia de modelo  | Propiedades   |
|---|---|
|  | Nombre: ASTM A53  |
|   | Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                    |
|   | Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises |
|   | Limite elástico: $1.72339e+008 \text{ N/m}^2$                 |
|   | Limite de tracción: $4.13613e+008 \text{ N/m}^2$              |
|   | Densidad: $7800 \text{ kg/m}^3$                               |
|   | Módulo elástico: $2e+011 \text{ N/m}^2$                       |
|   | Coeficiente de Poisson: 0.28                                  |
|   | Coeficiente de dilatación térmica: $1.1e-005 \text{ /Kelvin}$ |

Fuente: Autor.

- **Cargas.**

Tabla 30 Cargas térmicas aplicadas al hogar del caldero.

| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción  | Detalles de sujeción |                            |
|--------------------|---|----------------------|----------------------------|
| Fijo-1             |  | Entidades:           | 2 cara(s)                  |
|                    |   | Tipo:                | Geometría fija             |
| Nombre de carga    | Cargar imagen   | Detalles de carga    |                            |
| Presión-1          |  | Entidades:           | 1 cara(s)                  |
|                    |   | Tipo:                | Normal a cara seleccionada |
|                    |   | Valor:               | 40                         |
|                    |   | Unidades:            | psi                        |
|                    |   | Angulo de fase:      | 0                          |
|                    |   | Unidades:            | deg                        |

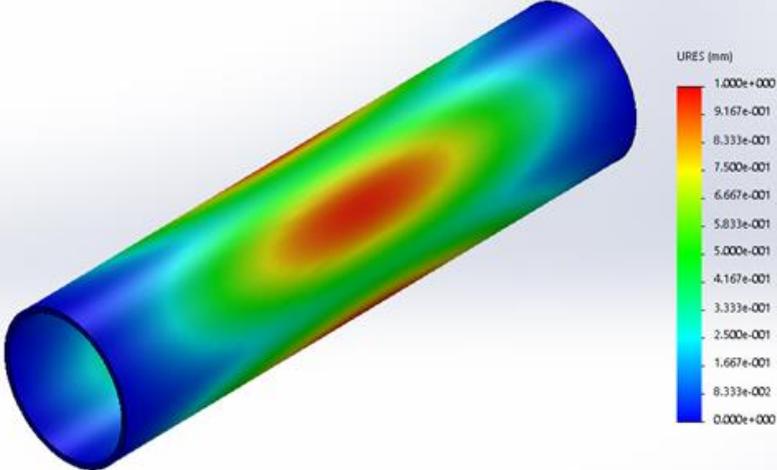
Fuente: Autor.

- **Resultado.**

Tabla 31 Resultado del análisis de pandeo aplicado al hogar del caldero.

| Nombre           | Tipo  | Mín.            | Máx.                      |
|------------------|---|-----------------|---------------------------|
| Desplazamientos1 | URES: Desplazamiento resultante<br>Plot para forma modal: 1(Factor de carga = -243.244) | 0 mm<br>Nodo: 1 | 0.97542 mm<br>Nodo: 11781 |

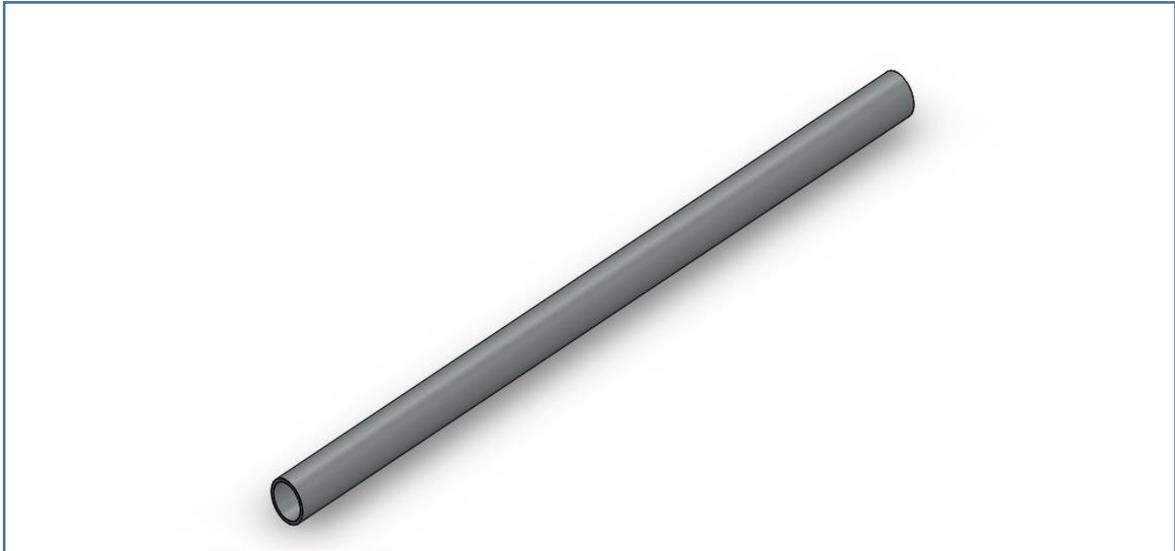
Nombre de modelo: tubo principal Presion  
Nombre de estudio: Pandeo 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Pandeo Desplazamientos1  
Forma modal: 1 Factor de carga = -243.24



Fuente: Autor.

- **Análisis de pandeo en los tubos de humo.**

Figura 35 Tubo de humo.



Fuente: Autor.

- **Propiedades mecánicas de los tubos de humo.**

Tabla 32 Propiedades mecánicas de los tubos de fuego.

| Referencia de modelo  | Propiedades   |
|---|---|
|  | Nombre: ASTM A53  |
|   | Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                    |
|   | Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises |
|   | Límite elástico: $1.72339e+008 \text{ N/m}^2$                 |
|   | Límite de tracción: $4.13613e+008 \text{ N/m}^2$              |
|   | Densidad: $7800 \text{ kg/m}^3$                               |
|   | Módulo elástico: $2e+011 \text{ N/m}^2$                       |
|   | Coeficiente de Poisson: 0.28                                  |
|   | Coeficiente de dilatación térmica: $1.1e-005 \text{ /Kelvin}$ |

Fuente: Autor.

- **Cargas.**

Tabla 33 Cargas aplicadas a los tubos de fuego del caldero.

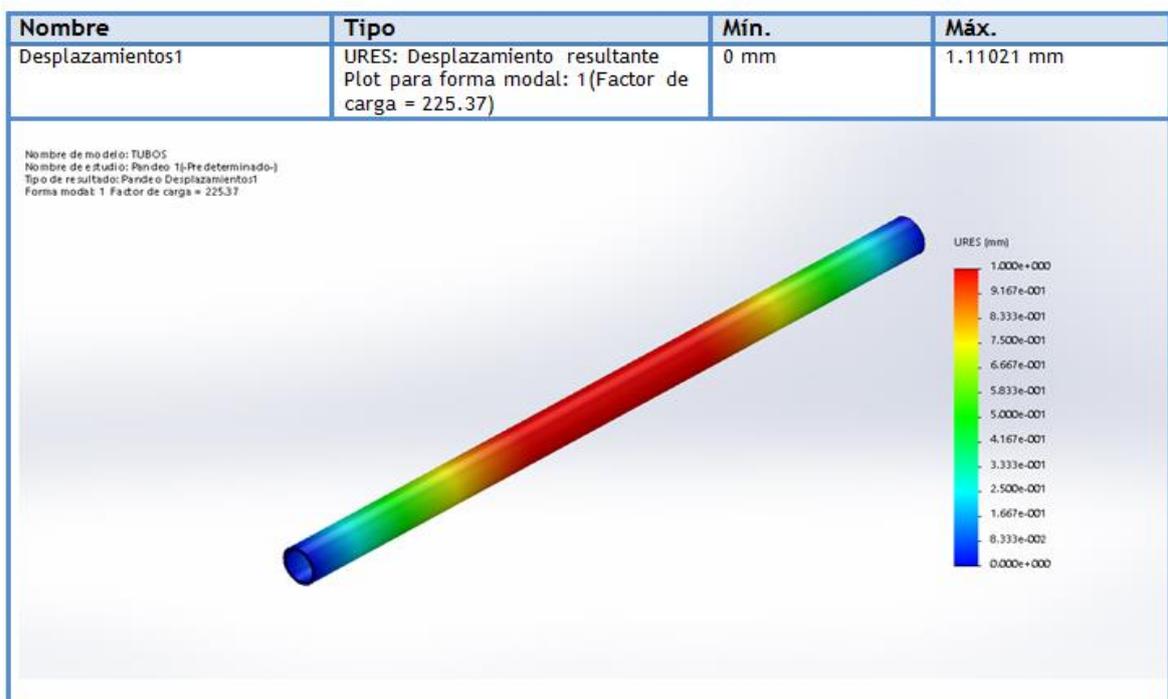
| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción  | Detalles de sujeción                         |
|--------------------|---|--|
| Fijo-1             |  | Entidades: 2 cara(s)<br>Tipo: Geometría fija |

| Nombre de carga | Cargar imagen   | Detalles de carga  |
|-----------------|---|--|
| Presión-1       |  | Entidades: 1 cara(s)<br>Tipo: Normal a cara seleccionada<br>Valor: 40<br>Unidades: psi<br>Angulo de fase: 0<br>Unidades: deg |

Fuente: Autor.

- **Resultado.**

Tabla 34 Resultado del análisis de pandeo en los tubos de humo.



Fuente: Autor.

## 4.1.14 Procedimiento de operación de la caldera.

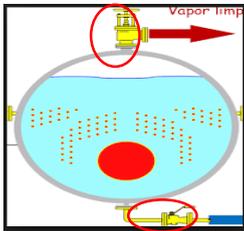
### Puesta en marcha.

- ❖ Revisar los niveles de diésel y agua, cerciorarse de su abastecimiento.



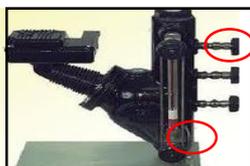
- Si el nivel de agua es bajo, la caldera no enciende.
- Al quedar sin diésel la caldera, esta se apaga.

- ❖ Cerrar la válvula de salida de vapor (ubicada en la parte superior de la caldera).
- ❖ Cerrar la válvula de purgas (ubicada en la parte inferior de la caldera).



- Si estas se encuentran abiertas, la caldera no se presuriza, en el caso de la válvula de purga, el agua escapa y la bomba no se apagará.

- ❖ Cerrar la válvula de purgas del control de nivel.
- ❖ Abrir las válvulas del visor de nivel.



- Si la válvula de purga no se cierra el control de nivel muestra una lectura errónea.
- Si no se abriesen las válvulas el tubo de nivel estará vacío.

- ❖ Abrir la válvula de paso de agua (ubicada a la salida del tanque de abastecimiento).



- En caso de no abrirla la bomba no suministrara agua hacia el interior de la caldera.
- Si está cerrada la bomba se recalientará y sufrirá averías.

- ❖ Abrir la válvula de paso de diésel (a la salida del tanque de diésel).



- En caso de no abrirla la bomba no suministrara diésel hacia el quemador de la caldera.
- Si está cerrada la bomba se recalientará y sufrirá averías.

- ❖ Subir el breaker principal, comprobando que el tablero este energizado (la luz roja deberá estar encendida).



- Sin accionar este breaker, el tablero no tendrá energía eléctrica, por lo tanto, no funciona.

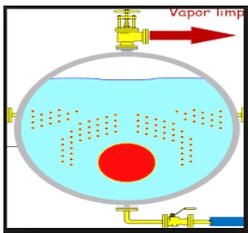
- ❖ Posicionar el selector en automático.



- Si no se sitúa en esta posición, la bomba de agua no encenderá.
- Si se sitúa en manual, la bomba no se apagará de modo automático cuando la caldera alcance el nivel máximo.

- ❖ Esperar a que la caldera cargue vapor y se apague automáticamente.

- ❖ Abrir la válvula de descarga de vapor.



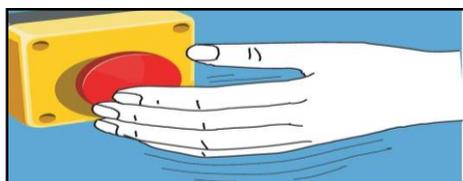
- Si no se realiza la apertura de esta válvula, el vapor generado en la caldera se mantiene al interior, es decir no llegara al sistema que se lo requiera.

## Parada

- Posicionar el selector en OFF.
- Bajar el breaker principal.
- Cerrar la válvula de vapor.
- Cerrar la válvula de paso de diésel.
- Cerrar la válvula de paso de agua.
- Descargar completamente el vapor de la caldera.

## En caso de emergencia.

- Oprima el botón parada de emergencia.



**Nota:**

Si la caldera fuese a operar de manera continua por un lapso mayor a cuatro horas, se recomienda realizar purgas periódicas para evacuar solidos acumulados tanto en el interior de esta, como en el control de nivel. Estas deben ser de un periodo de 2 segundos, en un número de tres; con intervalos entre sí de tres segundos.

## 4.2 Discusión.

### 4.2.1 Elección del tipo de caldero a diseñar

Para la correcta elección del generador de vapor se consideró varios criterios de selección, basados en la literatura del Pequeño manual del foguista, recomendaciones de la norma ASME y las necesidades presentes, los cuales se representan en la tabla 17.

Tabla 35 Elección de un caldero

|                                       |  |   |   |                                |
|---------------------------------------|--|---|---|--------------------------------|
| <b>Presión de trabajo</b>             | <b>Baja presión</b>  | Potencia  | Miniatura   |                                |
| <b>Materiales de construcción</b>     |  | Hierro Fundido  | Acero   |                                |
| <b>Disposición de fluidos</b>         |  | Acuotubulares   | Pirotubulares   |                                |
| <b>Forma del tubo y su posición</b>   |  | <b>Forma</b>  | <b>Posición</b>   |                                |
|                                       |  | <b>Rectos</b>   | <b>Horizontales</b>                                     |                                |
|                                       |  | Inclinado   | Inclinado   |                                |
|                                       |  | Sinuosos  | Verticales  |                                |
| <b>Tipo de funcionamiento</b>         |  | <b>Con quemador</b>   | Sin quemador  |                                |
| <b>Forma de circulación de fluido</b> | Natural  | <b>Forzado</b>  | Inducido  |                                |
| <b>Posición del hogar</b>             |  | <b>Interno</b>  | Externo   |                                |
| <b>Fuente de calor</b>                | <b>Combustión de combustibles sólidos, líquidos, gaseoso</b> | Gases calientes provenientes de reacciones químicas u otras | Calor provenientes de aplicaciones de energía eléctrica | Utilización de energía nuclear |
| <b>Combustible que usa</b>            | Solido   | <b>Líquido</b>  | Gaseoso   |                                |

Fuente: Autor

■ Elección realizada.

#### **4.2.2 Materiales y componentes de seguridad.**

Como se aprecia en las imágenes de los resultados de cada uno de los análisis de deformación y pandeo realizados a las partes constitutivas del caldero, la zona de coloración roja determina las deformaciones al momento de operar, con las respectivas cargas, por lo tanto, definimos que el material seleccionado resiste las condiciones de trabajo.

En cuanto a la temperatura, en el análisis realizado a la chaqueta del cuerpo del caldero se determinó que está dentro de un margen aceptable ( $27^{\circ}\text{C}$ ) podemos garantizar que no existe riesgo de quemaduras y el porcentaje de pérdidas de poder calórico hacia el exterior es mínimo, en consecuencia, el equipo trabajará de una manera eficiente.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones.

- Se diseñó un caldero con potencia de 12.2 Hp modelo horizontal Piro-tubular, rango de presión operativa mínima de 30Psi y máxima de 40 Psi, generación de vapor seco 180 Kg/h.
- Con los datos obtenidos y los sustentos teóricos se determinaron las características del material y elementos componentes del caldero tales como: para el cuerpo del caldero el acero ASTM 131, ASTM A53 para hogar y tubos de humo, y los accesorios tales como la bomba de agua PK 100, quemador Riello 40GS 10, válvula de seguridad 20732, presostato L404F1078 y control de nivel de agua 157 S.
- Cumpliendo con las normas establecidas se realizó el procedimiento de cómo realizar la puesta en marcha y parada para operar el caldero.

## **5.2 Recomendaciones.**

- Para corroborar los cálculos realizados es importante simular el equipo mediante software.
- Socializar el proyecto con los actores, con la finalidad de motivarlos para que financien la construcción del equipo.
- Conjuntamente con los beneficiarios del proyecto, elaborar un plan de mantenimiento.
- Capacitar al operador del caldero mediante charlas, y simulación de posibles fallas antes de ponerlo en funcionamiento.
- Instalar un sistema de ablandamiento del agua de suministro a la caldera.

## **CAPÍTULO VI**

### **BIBLIOGRAFÍA.**

## Literatura citada

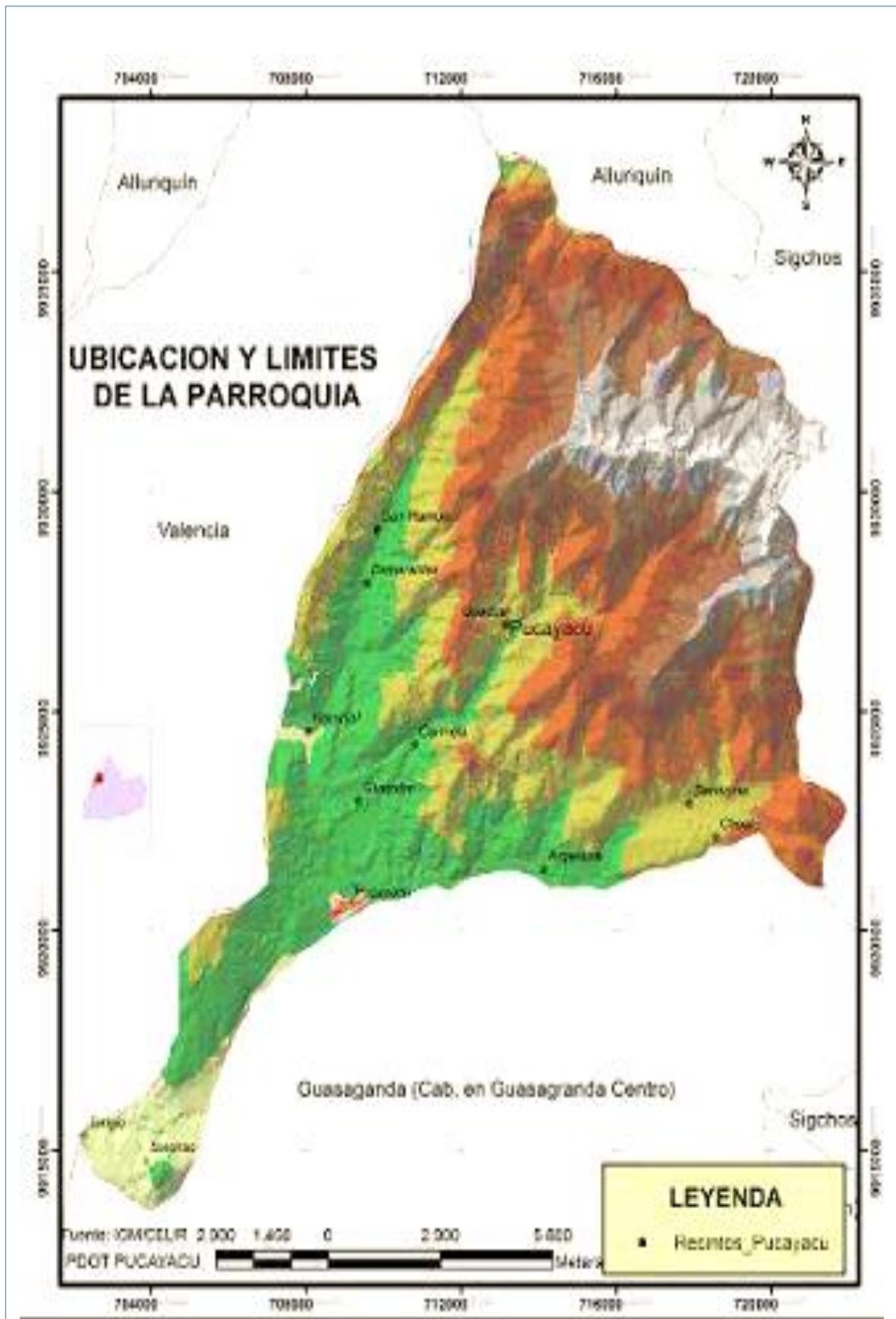
- [1] M. Mesny, Calderas de vapor (Manual del foguista), 10 ed., Montevideo: Marymar, 2011.
- [2] J. A. d. A. Y. Rodríguez- Pomatta, Calor y frio industrial 1, Madrid: E.T.S., 1987.
- [3] A. L. kohan, Manual de calderas, Primera edición en español ed., vol. 1, A. G. Brage, Ed., Madrid, Aravaca: McGraw-Hill, 2000, p. 407.
- [4] J. Arenzano, «Ingenieria de servicios,» Sabado 7 Noviembre 2009. [En línea]. Available: <http://ingenieriaservicios-generacionvapor.blogspot.com/2009/11/principio-de-funcionamiento-de-la.html>. [Último acceso: Jueves 24 Septiembre 2015].
- [5] N. L. Arrizabalaga, Caldereria tecnica, vol. 1, Magallanes, MADRID: Thomson Paraninfo, 1979, p. 800.
- [6] TVL, «Tvl. Compañia especialista en vapor,» Jueves 24 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/principal-applications-for-steam.html>. [Último acceso: Jueves 24 Septiembre 2015].
- [7] «Zonadiet.com,» [En línea]. Available: <http://www.zonadiet.com>. [Último acceso: Jueves enero 2016].
- [8] «Portalechero,» [En línea]. Available: <http://www.portalechero.com>. [Último acceso: Jueves Enero 2016].
- [9] Rojo/Alonzo, Física, WILMINGTON, DELAWARE: ADDISON - WESLEY IBEROAMERICANA, 1986.
- [10] S. Z. Young Fredman, Fisica universitaria, 12 ed., vol. 1, Naulcapan de Juarez, MEXICO: Addison Wesley, 2009, p. 760.
- [11] A. Acosta, Introduccion a la Fisica Mecanica y Calor , tomo 1, nueva edicion, Mexico: CULTURAL, 1986.
- [12] Y. A. Cengel y M. A. Boles, Termodinamica 6ta edicion, México: The McGraw-Hill educacion, 2009.
- [13] M. A. B. Yonus A. Cengel, Termodinamica, SEXTA ed., Mexico: Mc Graw Hill, 2009.
- [14] R. O. B. John R. HowelL, Principios de termodinámica para ingenieros., Mexico: McGraw-Hill, 1990.

- [15] N. L. Arrizabalaga, Maquinas prontuario, 13 ed., vol. 1, C. G. ASCENSIO, Ed., Magallanes, MADRID: Paraninfo, 2001, p. 626.
- [16] B. Bolivar, «Memorias de la catedra de operacion de calderos,» 2008.
- [17] [www.agualatinoamerica.com](http://www.agualatinoamerica.com). [En línea]. Available: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/7-8-02ref.pdf>. [Último acceso: Viernes Enero 2016].
- [18] «Gobierno autonomo descentralizado parroquial rural de Pucayacu,» Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://pucayacu.gob.ec/cotopaxi>.
- [19] E. F. Megyesy, Manual de recipientes a presion, México: Limusa, 1992.

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

Anexo. 1 Mapa de ubicación de la parroquia Pucayacu.



## Anexo. 2 Datos técnicos marmita.



**xuclà**  
MECÁNICAS FLUÍDA



ISO 9001  
BUREAU VERITAS  
Certification

Av. Europa, nº 12  
17800 OLOT  
(Girona) SPAIN

Tel. (+ 34) 972 265 100  
Fax (+ 34) 972 266 366

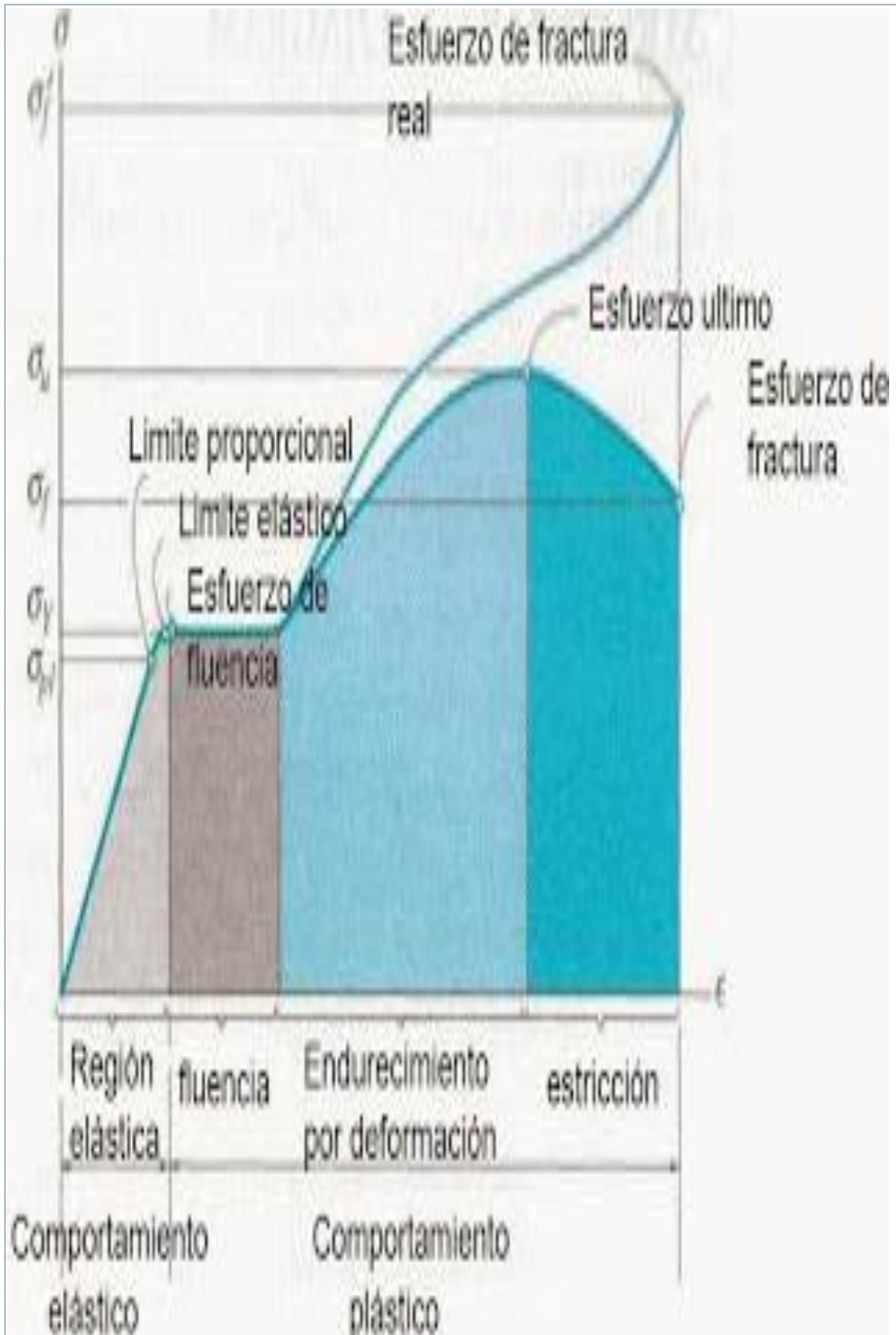
xucla@xucla.es  
www.xucla.es

| Código | Descripción                     |
|--------|---------------------------------|
| CV500  | <b>MARMITA VAPOR 500 LITROS</b> |

Descripción técnica

Construcción :  
Cubeta, parte superior y tapa en acero inox AISI 316.  
Resto en acero inox AISI 304.  
Dimensiones exteriores: 1.440 x 1.150 x 910 mm.  
Dimensiones cubeta: 1.250x 700 x 600 mm.  
Capacidad: 500 litros.  
Tapa basculante compensada. La tapa, a partir de 10º de abertura, queda posicionada automáticamente.  
Cubeta y sobre en chapa de 3 mm de grosor.  
Pies regulables antivibratorios M20.  
Aislamiento: panel de lana de roca de 60 mm de grosor.  
Entrada de agua de ¾" inox.  
Grifo de purga de 1 ¼" inox.  
Calentamiento del agua de la cubeta por inyección de vapor directo al fondo de la cubeta.  
Entrada de vapor controlada por electro válvula.  
~~Tapa protección electro válvula.~~  
Consumo vapor: 90 Kg/h. presión máxima 1,5kg/cm2.  
~~Cuadro eléctrico de mando a distancia, maniobra a 24 VAC. Interruptor general, interruptor paro/marcha, luminosos de funcionamiento, protectores.~~  
Regulador de temperatura electrónico - digital , con sonda PT-100.

**Anexo. 3 Diagrama esfuerzo vs deformación.**



Anexo. 4 Tabla A-4 agua saturada.

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

| Temp.,<br>T °C | Pres.<br>sat.,<br>P <sub>sat</sub> kPa | Volumen específico,<br>m <sup>3</sup> /kg |                                  | Energía interna,<br>kJ/kg       |                           |                                  | Entalpía,<br>kJ/kg              |                           |                                  | Entropía,<br>kJ/kg · K          |                           |                                  |
|----------------|--|---|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
|                |  | Liq.<br>sat.,<br>v <sub>f</sub>           | Vapor<br>sat.,<br>v <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br>u <sub>f</sub> | Evap.,<br>u <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br>u <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br>h <sub>f</sub> | Evap.,<br>h <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br>h <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br>s <sub>f</sub> | Evap.,<br>s <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br>s <sub>g</sub> |
| 0.01           | 0.6117                                 | 0.001000                                  | 206.00                           | 0.000                           | 2374.9                    | 2374.9                           | 0.001                           | 2500.9                    | 2500.9                           | 0.0000                          | 9.1556                    | 9.1556                           |
| 5              | 0.8725                                 | 0.001000                                  | 147.03                           | 21.019                          | 2360.8                    | 2381.8                           | 21.020                          | 2489.1                    | 2510.1                           | 0.0763                          | 8.9487                    | 9.0249                           |
| 10             | 1.2281                                 | 0.001000                                  | 106.32                           | 42.020                          | 2346.6                    | 2388.7                           | 42.022                          | 2477.2                    | 2519.2                           | 0.1511                          | 8.7488                    | 8.8999                           |
| 15             | 1.7057                                 | 0.001001                                  | 77.885                           | 62.980                          | 2332.5                    | 2395.5                           | 62.982                          | 2465.4                    | 2528.3                           | 0.2245                          | 8.5559                    | 8.7803                           |
| 20             | 2.3392                                 | 0.001002                                  | 57.762                           | 83.913                          | 2318.4                    | 2402.3                           | 83.915                          | 2453.5                    | 2537.4                           | 0.2965                          | 8.3696                    | 8.6661                           |
| 25             | 3.1698                                 | 0.001003                                  | 43.340                           | 104.83                          | 2304.3                    | 2409.1                           | 104.83                          | 2441.7                    | 2546.5                           | 0.3672                          | 8.1895                    | 8.5567                           |
| 30             | 4.2469                                 | 0.001004                                  | 32.879                           | 125.73                          | 2290.2                    | 2415.9                           | 125.74                          | 2429.8                    | 2555.6                           | 0.4368                          | 8.0150                    | 8.4520                           |
| 35             | 5.6291                                 | 0.001006                                  | 25.205                           | 146.63                          | 2276.0                    | 2422.7                           | 146.64                          | 2417.9                    | 2564.6                           | 0.5051                          | 7.8466                    | 8.3517                           |
| 40             | 7.3851                                 | 0.001008                                  | 19.515                           | 167.53                          | 2261.9                    | 2429.4                           | 167.53                          | 2406.0                    | 2573.6                           | 0.5724                          | 7.6832                    | 8.2566                           |
| 45             | 9.5953                                 | 0.001010                                  | 15.251                           | 188.43                          | 2247.7                    | 2436.1                           | 188.44                          | 2394.0                    | 2582.4                           | 0.6386                          | 7.5247                    | 8.1633                           |
| 50             | 12.352                                 | 0.001012                                  | 12.026                           | 209.33                          | 2233.4                    | 2442.7                           | 209.34                          | 2382.0                    | 2591.3                           | 0.7038                          | 7.3710                    | 8.0748                           |
| 55             | 15.763                                 | 0.001015                                  | 9.5639                           | 230.24                          | 2219.1                    | 2449.3                           | 230.26                          | 2369.8                    | 2600.1                           | 0.7680                          | 7.2218                    | 7.9898                           |
| 60             | 19.947                                 | 0.001017                                  | 7.6670                           | 251.16                          | 2204.7                    | 2455.9                           | 251.18                          | 2357.7                    | 2608.8                           | 0.8313                          | 7.0769                    | 7.9082                           |
| 65             | 25.043                                 | 0.001020                                  | 6.1935                           | 272.09                          | 2190.3                    | 2462.4                           | 272.12                          | 2345.4                    | 2617.5                           | 0.8937                          | 6.9360                    | 7.8296                           |
| 70             | 31.202                                 | 0.001023                                  | 5.0396                           | 293.04                          | 2175.8                    | 2468.9                           | 293.07                          | 2333.0                    | 2626.1                           | 0.9551                          | 6.7989                    | 7.7540                           |
| 75             | 38.597                                 | 0.001026                                  | 4.1291                           | 313.99                          | 2161.3                    | 2475.3                           | 314.03                          | 2320.6                    | 2634.6                           | 1.0158                          | 6.6655                    | 7.6812                           |
| 80             | 47.416                                 | 0.001029                                  | 3.4053                           | 334.97                          | 2146.6                    | 2481.6                           | 335.02                          | 2308.0                    | 2643.0                           | 1.0756                          | 6.5355                    | 7.6111                           |
| 85             | 57.868                                 | 0.001032                                  | 2.8261                           | 355.95                          | 2131.9                    | 2487.8                           | 356.02                          | 2295.3                    | 2651.4                           | 1.1346                          | 6.4089                    | 7.5435                           |
| 90             | 70.183                                 | 0.001036                                  | 2.3593                           | 376.97                          | 2117.0                    | 2494.0                           | 377.04                          | 2282.5                    | 2659.6                           | 1.1929                          | 6.2853                    | 7.4782                           |
| 95             | 84.609                                 | 0.001040                                  | 1.9808                           | 398.00                          | 2102.0                    | 2500.1                           | 398.09                          | 2269.6                    | 2667.6                           | 1.2504                          | 6.1647                    | 7.4151                           |
| 100            | 101.42                                 | 0.001043                                  | 1.6720                           | 419.06                          | 2087.0                    | 2506.0                           | 419.17                          | 2256.4                    | 2675.6                           | 1.3072                          | 6.0470                    | 7.3542                           |
| 105            | 120.90                                 | 0.001047                                  | 1.4186                           | 440.15                          | 2071.8                    | 2511.9                           | 440.28                          | 2243.1                    | 2683.4                           | 1.3634                          | 5.9319                    | 7.2952                           |
| 110            | 143.38                                 | 0.001052                                  | 1.2094                           | 461.27                          | 2056.4                    | 2517.7                           | 461.42                          | 2229.7                    | 2691.1                           | 1.4188                          | 5.8193                    | 7.2382                           |
| 115            | 169.18                                 | 0.001056                                  | 1.0360                           | 482.42                          | 2040.9                    | 2523.3                           | 482.59                          | 2216.0                    | 2698.6                           | 1.4737                          | 5.7092                    | 7.1829                           |
| 120            | 198.67                                 | 0.001060                                  | 0.89133                          | 503.60                          | 2025.3                    | 2528.9                           | 503.81                          | 2202.1                    | 2706.0                           | 1.5279                          | 5.6013                    | 7.1292                           |
| 125            | 232.23                                 | 0.001065                                  | 0.77012                          | 524.83                          | 2009.5                    | 2534.3                           | 525.07                          | 2188.1                    | 2713.1                           | 1.5816                          | 5.4956                    | 7.0771                           |
| 130            | 270.28                                 | 0.001070                                  | 0.66808                          | 546.10                          | 1993.4                    | 2539.5                           | 546.38                          | 2173.7                    | 2720.1                           | 1.6346                          | 5.3919                    | 7.0265                           |
| 135            | 313.22                                 | 0.001075                                  | 0.58179                          | 567.41                          | 1977.3                    | 2544.7                           | 567.75                          | 2159.1                    | 2726.9                           | 1.6872                          | 5.2901                    | 6.9773                           |
| 140            | 361.53                                 | 0.001080                                  | 0.50850                          | 588.77                          | 1960.9                    | 2549.6                           | 589.16                          | 2144.3                    | 2733.5                           | 1.7392                          | 5.1901                    | 6.9294                           |
| 145            | 415.68                                 | 0.001085                                  | 0.44600                          | 610.19                          | 1944.2                    | 2554.4                           | 610.64                          | 2129.2                    | 2739.8                           | 1.7908                          | 5.0919                    | 6.8827                           |
| 150            | 476.16                                 | 0.001091                                  | 0.39248                          | 631.66                          | 1927.4                    | 2559.1                           | 632.18                          | 2113.8                    | 2745.9                           | 1.8418                          | 4.9953                    | 6.8371                           |
| 155            | 543.49                                 | 0.001096                                  | 0.34648                          | 653.19                          | 1910.3                    | 2563.5                           | 653.79                          | 2098.0                    | 2751.8                           | 1.8924                          | 4.9002                    | 6.7927                           |
| 160            | 618.23                                 | 0.001102                                  | 0.30680                          | 674.79                          | 1893.0                    | 2567.8                           | 675.47                          | 2082.0                    | 2757.5                           | 1.9426                          | 4.8066                    | 6.7492                           |
| 165            | 700.93                                 | 0.001108                                  | 0.27244                          | 696.46                          | 1875.4                    | 2571.9                           | 697.24                          | 2065.6                    | 2762.8                           | 1.9923                          | 4.7143                    | 6.7067                           |
| 170            | 792.18                                 | 0.001114                                  | 0.24260                          | 718.20                          | 1857.5                    | 2575.7                           | 719.08                          | 2048.8                    | 2767.9                           | 2.0417                          | 4.6233                    | 6.6650                           |
| 175            | 892.60                                 | 0.001121                                  | 0.21659                          | 740.02                          | 1839.4                    | 2579.4                           | 741.02                          | 2031.7                    | 2772.7                           | 2.0906                          | 4.5335                    | 6.6242                           |
| 180            | 1002.8                                 | 0.001127                                  | 0.19384                          | 761.92                          | 1820.9                    | 2582.8                           | 763.05                          | 2014.2                    | 2777.2                           | 2.1392                          | 4.4448                    | 6.5841                           |
| 185            | 1123.5                                 | 0.001134                                  | 0.17390                          | 783.91                          | 1802.1                    | 2586.0                           | 785.19                          | 1996.2                    | 2781.4                           | 2.1875                          | 4.3572                    | 6.5447                           |
| 190            | 1255.2                                 | 0.001141                                  | 0.15636                          | 806.00                          | 1783.0                    | 2589.0                           | 807.43                          | 1977.9                    | 2785.3                           | 2.2355                          | 4.2705                    | 6.5059                           |
| 195            | 1398.8                                 | 0.001149                                  | 0.14089                          | 828.18                          | 1763.6                    | 2591.7                           | 829.78                          | 1959.0                    | 2788.8                           | 2.2831                          | 4.1847                    | 6.4678                           |
| 200            | 1554.9                                 | 0.001157                                  | 0.12721                          | 850.46                          | 1743.7                    | 2594.2                           | 852.26                          | 1939.8                    | 2792.0                           | 2.3305                          | 4.0997                    | 6.4302                           |

Anexo. 5 Tabla de viscosidades.

| Unidades derivadas   | VISCOSIDAD DE LÍQUIDOS Y DE GASES |                          |                          |                          |                        |               |          |       | TABLA B - 2 |
|--|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|---------------|----------|-------|-------------|
| <i>Peso específico, densidad, y viscosidad dinámica y cinemática del agua.</i>   |                                   |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
| Valores  | Temperatura t° C                  |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
|  | 0°                                | 10°                      | 15°                      | 20°                      | 40°                    | 60°           | 80°      | 100°  |             |
| $\gamma$ kg/m <sup>3</sup>   | 1000                              | 1000                     | 999                      | 998                      | 992                    | 983           | 972      | 958   |             |
| $\rho$ kg seg/m <sup>2</sup>   | 101,9                             | 101,9                    | 101,8                    | 101,7                    | 101,1                  | 100,2         | 99,1     | 97,85 |             |
| 10 <sup>6</sup> $\eta$ kg seg/m <sup>2</sup>   | 182                               | 133                      | 116,3                    | 102                      | 66,5                   | 47,9          | 36,3     | 28,8  |             |
| 10 <sup>6</sup> $\nu$ m <sup>2</sup> /seg  | 1,79                              | 1,31                     | 1,14                     | 1,01                     | 0,668                  | 0,478         | 0,366    | 0,296 |             |
| <i>Peso específico, densidad, y viscosidad dinámica y cinemática del aire.</i>   |                                   |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
| Valores  | Temperatura t° C a 760 Hg         |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
|  | -20°                              | 0°                       | 20°                      | 40°                      | 60°                    | 80°           | 100°     | 200°  | 500°        |
| $\gamma$ kg/m <sup>3</sup>   | 1,40                              | 1,29                     | 1,20                     | 1,12                     | 1,06                   | 1,00          | 0,95     | 0,746 | 0,393       |
| $\rho$ kg seg/m <sup>2</sup>   | 0,142                             | 0,132                    | 0,123                    | 0,115                    | 0,108                  | 0,102         | 0,096    | 0,076 | 0,040       |
| 10 <sup>6</sup> $\eta$ kg seg/m <sup>2</sup>   | 1,65                              | 1,75                     | 1,85                     | 1,95                     | 2,04                   | 2,13          | 2,22     | 2,66  | 3,868       |
| 10 <sup>6</sup> $\nu$ m <sup>2</sup> /seg  | 11,6                              | 13,3                     | 15,1                     | 16,9                     | 18,9                   | 20,9          | 23,1     | 35,0  | 95,7        |
| <i>Peso específico, densidad, y viscosidad dinámica y cinemática de vapor de agua.</i>   |                                   |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
| Valores  | Temperatura t° C a 760 Hg.        |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
|  | 100°                              | 150°                     | 200°                     | 250°                     | 300°                   | 350°          | 400°     | 450°  | 500°        |
| $\gamma$ kg/m <sup>3</sup>   | 0,508                             | 0,524                    | 0,467                    | 0,421                    | 0,384                  | 0,353         | 0,326    | 0,304 | 0,284       |
| $\rho$ kg seg/m <sup>2</sup>   | 0,061                             | 0,063                    | 0,048                    | 0,043                    | 0,039                  | 0,036         | 0,033    | 0,031 | 0,029       |
| 10 <sup>6</sup> $\eta$ kg seg/m <sup>2</sup>   | 1,296                             | 1,486                    | 1,679                    | 1,875                    | 2,071                  | 2,267         | 2,468    | 2,668 | 2,870       |
| 10 <sup>6</sup> $\nu$ m <sup>2</sup> /seg  | 21,27                             | 27,88                    | 35,30                    | 43,55                    | 52,80                  | 63,00         | 74,20    | 86,10 | 99,10       |
| <i>Viscosidad dinámica de gases</i>  |                                   |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
| Valor  | Aire                              | Anhidrido carbónico      | Oxígeno                  | Nitrógeno                | Hidrógeno              | Vapor de agua | Amoníaco |       |             |
| 10 <sup>6</sup> $\eta$ , kg seg/m <sup>2</sup>   | 1,753                             | 1,425                    | 1,965                    | 1,683                    | 0,852                  | 0,922         | 0,930    |       |             |
| n  | 0,78                              | 0,866                    | 0,702                    | 0,694                    | 0,67                   | 1,09          | 1,05     |       |             |
| <i>Para temperaturas de -20° &lt; t &lt; 500° C, se cumple la relación <math>\eta = \eta_0 [1 + 273/(273+t)]</math>. Se exponen valores de 10<sup>6</sup> <math>\eta</math>, y del exponente n de la fórmula, para varios gases importantes.</i> |                                   |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
| <i>Viscosidad cinemática de varios líquidos a 20° C</i>  |                                   |                          |                          |                          |                        |               |          |       |             |
| Valor  | Mercurio                          | Eter                     | Alcohol                  | Benzol                   | Glicerina              |               |          |       |             |
| $\nu$ m <sup>2</sup> /seg.   | 0,115 · 10 <sup>-6</sup>          | 0,316 · 10 <sup>-6</sup> | 1,520 · 10 <sup>-6</sup> | 0,740 · 10 <sup>-6</sup> | 971 · 10 <sup>-6</sup> |               |          |       |             |

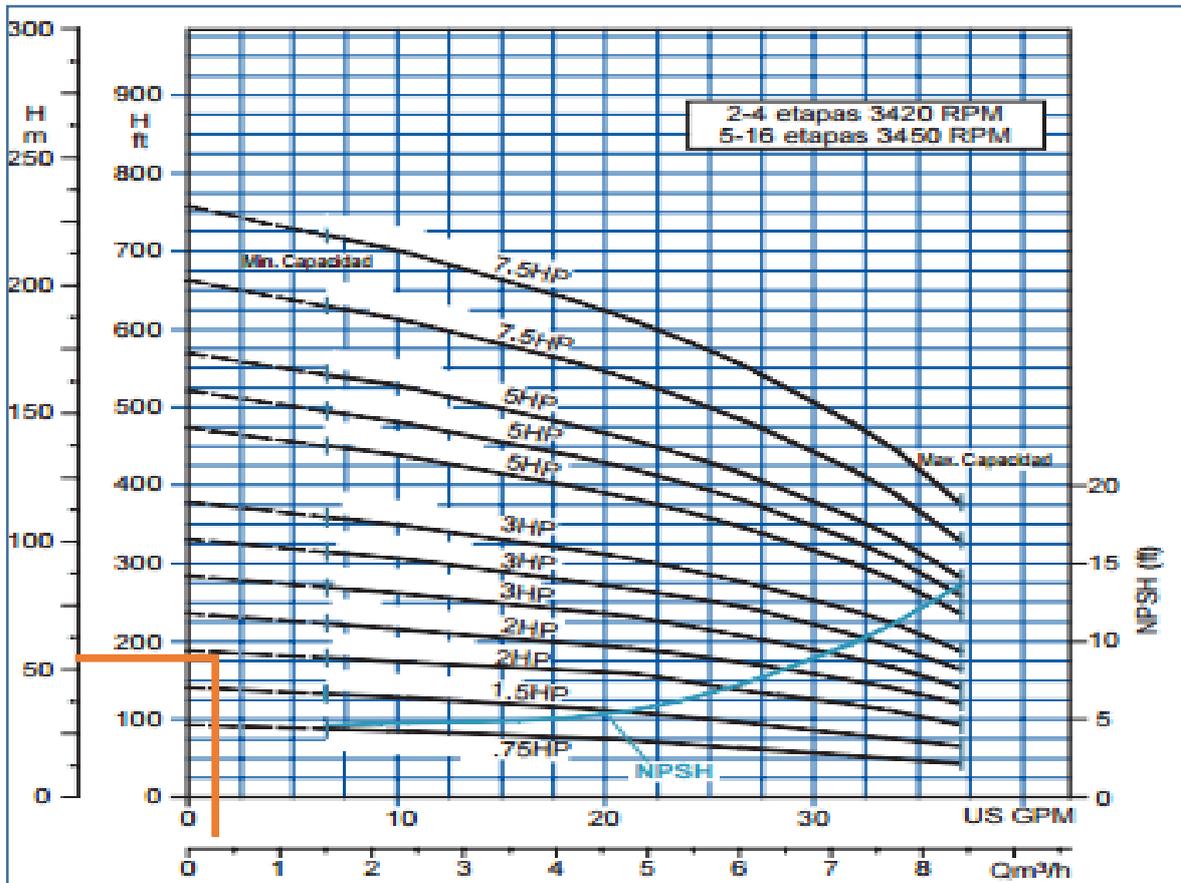
Anexo. 6 Tabla A- 5 agua saturada.

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

| Pres.,<br>P kPa | Temp.<br>sat.,<br>T <sub>sat</sub> °C | Volumen específico,<br>m <sup>3</sup> /kg |                                  | Energía interna,<br>kJ/kg       |                           |                                  | Entalpia,<br>kJ/kg              |                           |                                  | Entropía,<br>kJ/kg · K          |                           |                                  |
|-----------------|---------------------------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
|                 |                                       | Liq.<br>sat.,<br>v <sub>f</sub>           | Vapor<br>sat.,<br>v <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br>u <sub>f</sub> | Evap.,<br>u <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br>u <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br>h <sub>f</sub> | Evap.,<br>h <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br>h <sub>g</sub> | Liq.<br>sat.,<br>s <sub>f</sub> | Evap.,<br>s <sub>fg</sub> | Vapor<br>sat.,<br>s <sub>g</sub> |
| 1.0             | 6.97                                  | 0.001000                                  | 129.19                           | 29.302                          | 2355.2                    | 2384.5                           | 29.303                          | 2484.4                    | 2513.7                           | 0.1059                          | 8.8690                    | 8.9749                           |
| 1.5             | 13.02                                 | 0.001001                                  | 87.964                           | 54.686                          | 2338.1                    | 2392.8                           | 54.688                          | 2470.1                    | 2524.7                           | 0.1956                          | 8.6314                    | 8.8270                           |
| 2.0             | 17.50                                 | 0.001001                                  | 66.990                           | 73.431                          | 2325.5                    | 2398.9                           | 73.433                          | 2459.5                    | 2532.9                           | 0.2606                          | 8.4621                    | 8.7227                           |
| 2.5             | 21.08                                 | 0.001002                                  | 54.242                           | 88.422                          | 2315.4                    | 2403.8                           | 88.424                          | 2451.0                    | 2539.4                           | 0.3118                          | 8.3302                    | 8.6421                           |
| 3.0             | 24.08                                 | 0.001003                                  | 45.654                           | 100.98                          | 2306.9                    | 2407.9                           | 100.98                          | 2443.9                    | 2544.8                           | 0.3543                          | 8.2222                    | 8.5765                           |
| 4.0             | 28.96                                 | 0.001004                                  | 34.791                           | 121.39                          | 2293.1                    | 2414.5                           | 121.39                          | 2432.3                    | 2553.7                           | 0.4224                          | 8.0510                    | 8.4734                           |
| 5.0             | 32.87                                 | 0.001005                                  | 28.185                           | 137.75                          | 2282.1                    | 2419.8                           | 137.75                          | 2423.0                    | 2560.7                           | 0.4762                          | 7.9176                    | 8.3938                           |
| 7.5             | 40.29                                 | 0.001008                                  | 19.233                           | 168.74                          | 2261.1                    | 2429.8                           | 168.75                          | 2405.3                    | 2574.0                           | 0.5763                          | 7.6738                    | 8.2501                           |
| 10              | 45.81                                 | 0.001010                                  | 14.670                           | 191.79                          | 2245.4                    | 2437.2                           | 191.81                          | 2392.1                    | 2583.9                           | 0.6492                          | 7.4996                    | 8.1488                           |
| 15              | 53.97                                 | 0.001014                                  | 10.020                           | 225.93                          | 2222.1                    | 2448.0                           | 225.94                          | 2372.3                    | 2598.3                           | 0.7549                          | 7.2522                    | 8.0071                           |
| 20              | 60.06                                 | 0.001017                                  | 7.6481                           | 251.40                          | 2204.6                    | 2456.0                           | 251.42                          | 2357.5                    | 2608.9                           | 0.8320                          | 7.0752                    | 7.9073                           |
| 25              | 64.96                                 | 0.001020                                  | 6.2034                           | 271.93                          | 2190.4                    | 2462.4                           | 271.96                          | 2345.5                    | 2617.5                           | 0.8932                          | 6.9370                    | 7.8302                           |
| 30              | 69.09                                 | 0.001022                                  | 5.2287                           | 289.24                          | 2178.5                    | 2467.7                           | 289.27                          | 2335.3                    | 2624.6                           | 0.9441                          | 6.8234                    | 7.7675                           |
| 40              | 75.86                                 | 0.001026                                  | 3.9933                           | 317.58                          | 2158.8                    | 2476.3                           | 317.62                          | 2318.4                    | 2636.1                           | 1.0261                          | 6.6430                    | 7.6691                           |
| 50              | 81.32                                 | 0.001030                                  | 3.2403                           | 340.49                          | 2142.7                    | 2483.2                           | 340.54                          | 2304.7                    | 2645.2                           | 1.0912                          | 6.5019                    | 7.5931                           |
| 75              | 91.76                                 | 0.001037                                  | 2.2172                           | 384.36                          | 2111.8                    | 2496.1                           | 384.44                          | 2278.0                    | 2662.4                           | 1.2132                          | 6.2426                    | 7.4558                           |
| 100             | 99.61                                 | 0.001043                                  | 1.6941                           | 417.40                          | 2088.2                    | 2505.6                           | 417.51                          | 2257.5                    | 2675.0                           | 1.3028                          | 6.0562                    | 7.3589                           |
| 101.325         | 99.97                                 | 0.001043                                  | 1.6734                           | 418.95                          | 2087.0                    | 2506.0                           | 419.06                          | 2256.5                    | 2675.6                           | 1.3069                          | 6.0476                    | 7.3545                           |
| 125             | 105.97                                | 0.001048                                  | 1.3750                           | 444.23                          | 2068.8                    | 2513.0                           | 444.36                          | 2240.6                    | 2684.9                           | 1.3741                          | 5.9100                    | 7.2841                           |
| 150             | 111.35                                | 0.001053                                  | 1.1594                           | 466.97                          | 2052.3                    | 2519.2                           | 467.13                          | 2226.0                    | 2693.1                           | 1.4337                          | 5.7894                    | 7.2231                           |
| 175             | 116.04                                | 0.001057                                  | 1.0037                           | 486.82                          | 2037.7                    | 2524.5                           | 487.01                          | 2213.1                    | 2700.2                           | 1.4850                          | 5.6865                    | 7.1716                           |
| 200             | 120.21                                | 0.001061                                  | 0.88578                          | 504.50                          | 2024.6                    | 2529.1                           | 504.71                          | 2201.6                    | 2706.3                           | 1.5302                          | 5.5968                    | 7.1270                           |
| 225             | 123.97                                | 0.001064                                  | 0.79329                          | 520.47                          | 2012.7                    | 2533.2                           | 520.71                          | 2191.0                    | 2711.7                           | 1.5706                          | 5.5171                    | 7.0877                           |
| 250             | 127.41                                | 0.001067                                  | 0.71873                          | 535.08                          | 2001.8                    | 2536.8                           | 535.35                          | 2181.2                    | 2716.5                           | 1.6072                          | 5.4453                    | 7.0525                           |
| 275             | 130.58                                | 0.001070                                  | 0.65732                          | 548.57                          | 1991.6                    | 2540.1                           | 548.86                          | 2172.0                    | 2720.9                           | 1.6408                          | 5.3800                    | 7.0207                           |
| 300             | 133.52                                | 0.001073                                  | 0.60582                          | 561.11                          | 1982.1                    | 2543.2                           | 561.43                          | 2163.5                    | 2724.9                           | 1.6717                          | 5.3200                    | 6.9917                           |
| 325             | 136.27                                | 0.001076                                  | 0.56199                          | 572.84                          | 1973.1                    | 2545.9                           | 573.19                          | 2155.4                    | 2728.6                           | 1.7005                          | 5.2645                    | 6.9650                           |
| 350             | 138.86                                | 0.001079                                  | 0.52422                          | 583.89                          | 1964.6                    | 2548.5                           | 584.26                          | 2147.7                    | 2732.0                           | 1.7274                          | 5.2128                    | 6.9402                           |
| 375             | 141.30                                | 0.001081                                  | 0.49133                          | 594.32                          | 1956.6                    | 2550.9                           | 594.73                          | 2140.4                    | 2735.1                           | 1.7526                          | 5.1645                    | 6.9171                           |
| 400             | 143.61                                | 0.001084                                  | 0.46242                          | 604.22                          | 1948.9                    | 2553.1                           | 604.66                          | 2133.4                    | 2738.1                           | 1.7765                          | 5.1191                    | 6.8955                           |
| 450             | 147.90                                | 0.001088                                  | 0.41392                          | 622.65                          | 1934.5                    | 2557.1                           | 623.14                          | 2120.3                    | 2743.4                           | 1.8205                          | 5.0356                    | 6.8561                           |
| 500             | 151.83                                | 0.001093                                  | 0.37483                          | 639.54                          | 1921.2                    | 2560.7                           | 640.09                          | 2108.0                    | 2748.1                           | 1.8604                          | 4.9603                    | 6.8207                           |
| 550             | 155.46                                | 0.001097                                  | 0.34261                          | 655.16                          | 1908.8                    | 2563.9                           | 655.77                          | 2096.6                    | 2752.4                           | 1.8970                          | 4.8916                    | 6.7886                           |
| 600             | 158.83                                | 0.001101                                  | 0.31560                          | 669.72                          | 1897.1                    | 2566.8                           | 670.38                          | 2085.8                    | 2756.2                           | 1.9308                          | 4.8285                    | 6.7593                           |
| 650             | 161.98                                | 0.001104                                  | 0.29260                          | 683.37                          | 1886.1                    | 2569.4                           | 684.08                          | 2075.5                    | 2759.6                           | 1.9623                          | 4.7699                    | 6.7322                           |
| 700             | 164.95                                | 0.001108                                  | 0.27278                          | 696.23                          | 1875.6                    | 2571.8                           | 697.00                          | 2065.8                    | 2762.8                           | 1.9918                          | 4.7153                    | 6.7071                           |
| 750             | 167.75                                | 0.001111                                  | 0.25552                          | 708.40                          | 1865.6                    | 2574.0                           | 709.24                          | 2056.4                    | 2765.7                           | 2.0195                          | 4.6642                    | 6.6837                           |

**Anexo. 7 Diagrama para determinar la potencia de una bomba centrífuga.**



Fuente: [www.agualatinoamerica.com](http://www.agualatinoamerica.com)

**Anexo. 8 Modelos y características técnicas de bombas centrífugas Pedrollo**

| MODELO     |           | POTENCIA |      | Q     | H metros |    |      |      |     |      |     |      |     |     |     |     |     |     |     |  |
|------------|-----------|----------|------|-------|----------|----|------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Monofásica | Trifásica | kW       | HP   |       | m³/h     | 0  | 0.3  | 0.6  | 0.9 | 1.2  | 1.5 | 1.8  | 2.1 | 2.4 | 3.0 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 5.4 |  |
|            |           |          |      | l/min | 0        | 5  | 10   | 15   | 20  | 25   | 30  | 35   | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  |     |  |
| PKm 60*    | PK 60*    | 0.37     | 0.50 |       | 40       | 38 | 33.5 | 29   | 24  | 19.5 | 15  | 10   | 5   |     |     |     |     |     |     |  |
| PKm 65     | PK 65     | 0.50     | 0.70 |       | 55       | 50 | 45.5 | 40.5 | 36  | 31   | 27  | 22   | 17  | 8   |     |     |     |     |     |  |
| PKm 70     | PK 70     | 0.60     | 0.85 |       | 65       | 62 | 57   | 52   | 47  | 42   | 37  | 32   | 27  | 18  |     |     |     |     |     |  |
| PKm 80     | PK 80     | 0.75     | 1    |       | 70       | 66 | 61   | 56   | 51  | 46   | 41  | 36.5 | 31  | 22  |     |     |     |     |     |  |
| PKm 90     | PK 90     | 0.75     | 1    |       | 90       | 82 | 71   | 60   | 49  | 38   | 27  | 17   | 5   |     |     |     |     |     |     |  |
| PKm 100    | PK 100    | 1.1      | 1.5  |       | 85       | 80 | 75   | 70   | 65  | 60   | 55  | 50   | 45  | 35  | 25  | 15  |     |     |     |  |
| PKm 200    | PK 200    | 1.5      | 2    |       | 90       | 86 | 81   | 76   | 71  | 65.5 | 60  | 55   | 50  | 40  | 30  | 20  | 10  |     |     |  |
| -          | PK 300    | 2.2      | 3    |       | 100      | 95 | 90   | 85   | 80  | 75   | 70  | 65   | 60  | 50  | 40  | 30  | 20  | 10  |     |  |

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

Fuente: [www.pedrollo.com.ec](http://www.pedrollo.com.ec)

## Anexo. 9 Quemadores a diésel marca Riello.

| KW         | BTU's/Hr x 1000   | Caballos Caldera | Modelos  | Tipo    |
|------------|-------------------|------------------|----------|---------|
| 11 - 35    | 37600 - 119500    | 1 - 3            | 40 GS 3  | 1 Etapa |
| 18 - 58    | 61500 - 198000    | 1 - 5            | 40 GS 5  | 1 Etapa |
| 42 - 16    | 144000 - 4000000  | 5 - 11           | 40 GS 10 | 1 Etapa |
| 81 - 220   | 280000 - 8000000  | 8 - 23           | 40 GS 20 | 1 Etapa |
| 130 - 350  | 444000 - 1195000  | 14 - 35          | Gas 3    | 1 Etapa |
| 185 - 465  | 632000 - 1588000  | 19 - 47          | Gas 4    | 1 Etapa |
| 325 - 660  | 1110000 - 2254000 | 33 - 67          | Gas 5    | 1 Etapa |
| 525 - 1050 | 1793000 - 3586000 | 53 - 107         | Gas 6    | 1 Etapa |

Fuente: [www.thermalcombustion.com](http://www.thermalcombustion.com)

## Anexo. 10 Selección de válvula de seguridad.

| Tamaño DN               | 20/32 | 25/40                       | 32/50  | 40/65  | 50/80  | 65/100 | 80/125 | 100/150 | 125/200 | 150/250 |  |
|-------------------------|-------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--|
| Orificio (mm)           | 17,1  | 23,8                        | 30,7   | 38,1   | 50,2   | 59,0   | 73,0   | 91,0    | 105     | 125     |  |
| Area (mm <sup>2</sup> ) | 230   | 445                         | 740    | 1 140  | 1 979  | 2 734  | 4 185  | 6 504   | 8 659   | 12 272  |  |
| $\alpha_w$ (P > 4 bar)  | 0,78  | 0,86                        | 0,76   | 0,68   | 0,64   | 0,71   | 0,66   | 0,70    | 0,72    | 0,73    |  |
| Presión tara (bar r)    |       | Capacidades para vapor kg/h |        |        |        |        |        |         |         |         |  |
| 1                       | 180   | 381                         | 577    | 772    | 1 251  | 1 919  | 2 683  | 4 373   | 6 043   | 8 703   |  |
| 2                       | 296   | 630                         | 952    | 1 303  | 2 089  | 3 194  | 4 514  | 7 334   | 10 130  | 14 551  |  |
| 3                       | 406   | 862                         | 1 289  | 1 782  | 2 859  | 4 381  | 6 249  | 10 133  | 14 028  | 20 184  |  |
| 4                       | 510   | 1 090                       | 1 603  | 2 209  | 3 610  | 5 531  | 7 872  | 12 973  | 17 766  | 25 528  |  |
| 5                       | 613   | 1 309                       | 1 925  | 2 652  | 4 333  | 6 641  | 9 450  | 15 575  | 21 329  | 30 647  |  |
| 6                       | 713   | 1 522                       | 2 239  | 3 085  | 5 040  | 7 724  | 10 992 | 18 116  | 24 807  | 35 646  |  |
| 7                       | 812   | 1 734                       | 2 549  | 3 513  | 5 740  | 8 796  | 12 517 | 20 630  | 28 250  | 40 593  |  |
| 8                       | 914   | 1 953                       | 2 871  | 3 957  | 6 466  | 9 908  | 14 100 | 23 238  | 31 822  | 45 725  |  |
| 9                       | 1 012 | 2 161                       | 3 177  | 4 378  | 7 154  | 10 963 | 15 601 | 25 712  | 35 210  | 50 594  |  |
| 10                      | 1 114 | 2 379                       | 3 498  | 4 820  | 7 876  | 12 069 | 17 175 | 28 307  | 38 764  | 55 700  |  |
| 12                      | 1 311 | 2 800                       | 4 118  | 5 675  | 9 272  | 14 208 | 20 219 | 33 324  | 45 634  | 65 572  |  |
| 14                      | 1 510 | 3 226                       | 4 744  | 6 537  | 10 681 | 16 367 | 23 292 | 38 388  | 52 568  | 75 537  |  |
| 16                      | 1 709 | 3 649                       | 5 366  | 7 395  | 12 082 | 18 515 | 26 349 | 43 426  | 59 467  | 85 450  |  |
| 18                      | 1 911 | 4 081                       | 6 001  | 8 269  | 13 512 | 20 705 | 29 465 | 48 562  | 66 501  | -       |  |
| 20                      | 2 102 | 4 490                       | 6 602  | 9 097  | 14 864 | 22 778 | 32 415 | 53 425  | 73 160  | -       |  |
| 22                      | 2 303 | 4 919                       | 7 233  | 9 968  | 16 286 | 24 957 | 35 516 | 58 535  | -       | -       |  |
| 24                      | 2 504 | 5 349                       | 7 865  | 10 838 | 17 708 | 27 136 | 38 617 | 63 645  | -       | -       |  |
| 26                      | 2 705 | 5 778                       | 8 496  | 11 708 | 19 130 | 29 315 | 41 717 | -       | -       | -       |  |
| 28                      | 2 906 | 6 207                       | 9 127  | 12 578 | 20 552 | 31 494 | 44 818 | -       | -       | -       |  |
| 30                      | 3 107 | 6 637                       | 9 759  | 13 448 | 21 974 | 33 672 | 47 918 | -       | -       | -       |  |
| 32                      | 3 308 | 7 066                       | 10 390 | 14 319 | 23 395 | 35 851 | 51 019 | -       | -       | -       |  |

Fuente: [www.spiraxsarco.com](http://www.spiraxsarco.com)

## Anexo. 11 Modelos de presostato Honeywell.

| Cat #                     | Operating Pressure Range (psi) | (psi)   | Pressure Differential (psi) | Switching Action  | Mounting  | Includes                                 |
|---------------------------|--------------------------------|---------|-----------------------------|---|---|--|
| <a href="#">L404F1060</a> | 2 to 15 psi                    | 25 psi  | 2 to 6 psi                  | SPDT snap action, make R-W, break R-B on pressure rise                                      | 1/4 in. NPT internal thread or surface mount through back of case | -  |
| <a href="#">L404F1078</a> | 5 to 50 psi                    | 85 psi  | 6 to 14 psi                 | SPDT snap action, make R-W, break R-B on pressure rise                                      | 1/4 in. NPT internal thread or surface mount through back of case | -  |
| <a href="#">L404F1094</a> | 20 to 300 psi                  | 350 psi | 20 to 50 psi                | SPDT snap action, make R-W, break R-B on pressure rise make R-W, break R-B on pressure rise | 1/4 in. NPT internal thread or surface mount through back of case | -  |
| <a href="#">L404F1102</a> | 10 to 150 psi                  | 225 psi | 10 to 22 psi                | SPDT snap action, make R-W, break R-B on pressure rise                                      | 1/4 in. NPT internal thread or surface mount through back of case | -  |
| L404F1219                 | 2 to 15 psi                    | 25 psi  | 2 to 6 psi                  | SPDT snap action, make R-W, break R-B on pressure rise                                      | 1/4 in. NPT internal thread or surface mount through back of case | BSPT ground screw and European Enclosure |
| <a href="#">L404F1227</a> | 10 to 150 psi                  | 225 psi | 10 to 22 psi                | SPDT snap action, make R-W, break R-B on pressure rise                                      | 1/4 in. NPT internal thread or surface mount through back of case | BSPT ground screw and European           |

Fuente: [www.honeywell.com](http://www.honeywell.com)

## Anexo. 12 Control de Nivel de agua.

|   |   |
|---|---|
|  | <h3>COLUMNA PRINCIPAL MOD. 157S</h3> <p>Referencia:</p> <hr/> <p>McDonnell &amp; Miller</p>  <p><b>McDonnell &amp; Miller</b><br/>a xylem brand</p>  |
|   | <p>Columna de nivel de agua principal modelo 157S con microswitch. Presión de operación de 150psig conexión de 1" NPT. El modelo 157S controla el ingreso de agua de manera "on-off". Cuando el nivel de agua alcanza un mínimo, la columna envía una señal que enciende la bomba para agua reponiendo la cantidad consumida. Cuando el nivel máximo de agua es alcanzado, el control de nivel manda una señal para apagar la bomba de agua. Aplicaciones comunes: Todo tipo de calderas.</p> |

Anexo. 13 Tabla de láminas de acero naval.

PLANCHAS



### PLANCHAS NAVALES

**Especificaciones Generales**

**Norma:** ASTM A131  
**Espesores:** 4.0mm a 15.0mm  
**Planchas:** 1500mm X 6000mm  
 1520mm X 6096mm

REMOLCADOR ELABORADO CON PLANCHAS NAVALES.



BARCO PESQUERO ELABORADO CON PLANCHAS NAVALES.



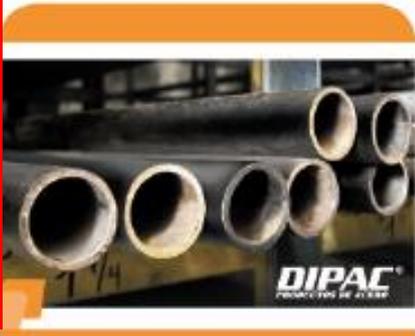
| Descripción | COMPOSICION QUIMICA % |           |           |          |          | PRUEBAS MECANICAS                           |   |                    |          | PRUEBA DE FLEXIBILIDAD                 |                         |   |
|-------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|----------|---|---|--------------------|----------|--|-------------------------|---|
|             | C<br>max              | Si        | Mn        | P<br>max | S<br>max | Resistencia<br>Mecánica<br>psi<br>(kgf/mm2) | Punto de<br>Fluencia<br>psi<br>(kgf/mm2)<br>min | Elongación         |          | Espesor<br>en (mm)                     | Angulo<br>de<br>doblado | Radio de Curva<br>Diámetro<br>del espesor<br>de la<br>Muestra |
|             |                       |           |           |          |          |   |   | Muestra<br>in (mm) | %<br>min |  |                         |   |
| Grade A     |                       |           |           | 0,04     | 0,05     |   |   |                    |          | 3/4(19.1) y<br>menores                 |                         |   |
| Grade B     | 0,21                  |           | 0,80-1,10 | 0,04     | 0,05     | 58,000<br>(40,8)                            | 32,000<br>(22,5)                                | GL=8(200)          | 21       |  | 180°                    | 3   |
| Grade C     | 0,23                  | 0,15-0,30 | 0,60-0,90 | 0,04     | 0,05     | 71,000<br>(49,8)                            |   | GL=2(50)           | 24       | Sobre 3/4 to<br>1 1/4 (31,8),<br>incl. |                         | 3   |
| Grade CS    | 0,18                  | 0,15-0,30 | 1,00-1,35 | 0,04     | 0,05     |   |   |                    |          |  |                         |   |
| Grade E     | 0,18                  | 0,15-0,30 | 0,70-1,35 | 0,04     | 0,05     |   |   |                    |          |  |                         |   |
| Grade R     | 0,24                  |           | 0,60-0,90 | 0,04     | 0,05     |   |   |                    |          | Sobre 1 1/4                            |                         |   |

22

[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

Anexo. 14 Tabla de tuberías.





TSC

TUBERIA PARA VAPOR

TUBERIA SIN COSTURA Y ACCESORIOS

CEDULA 40

Especificaciones Generales

|                      |   |
|----------------------|---|
| <b>Norma</b>         | ASTM A53 GrB para conducción de fluidos |
| <b>Recubrimiento</b> | Negro o galvanizado                     |
| <b>Largo normal</b>  | 6.00m                                   |
| <b>Otros largos</b>  | Previa Consulta                         |
| <b>Acabado</b>       | Natural                                 |
| <b>Otro acabado</b>  | Previa Consulta                         |

Resistencia Mecánica

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Resistencia a la tracción</b> | 60000 psi ( 42.2 Kg F/mm <sup>2</sup> ) |
| <b>Límite de elasticidad</b>     | 35000 psi ( 24.6 Kg F/mm <sup>2</sup> ) |
| <b>Alargamiento</b>              | 0.5%                                    |

| DIAMETRO<br>NOMINAL | DIAMETRO<br>EXTERIOR |       | ESPESOR |      | PRESION/PRUEBA     |                      | PESO  |
|---------------------|----------------------|-------|---------|------|--------------------|----------------------|-------|
|                     | mm                   | pulg  | e<br>mm | pulg | kg/cm <sup>2</sup> | lb/pulg <sup>2</sup> | kg/mt |
|                     |                      |       |         |      |                    |                      |       |
| 1/4"                | 13.70                | 0.54  | 2.24    | 0.08 | 49                 | 700                  | 0.63  |
| 3/8"                | 17.10                | 0.37  | 2.81    | 0.09 | 49                 | 700                  | 0.85  |
| 1/2"                | 21.30                | 0.84  | 2.77    | 0.10 | 49                 | 700                  | 1.27  |
| 3/4"                | 26.70                | 1.05  | 2.87    | 0.11 | 49                 | 700                  | 1.68  |
| 1"                  | 33.40                | 1.31  | 3.38    | 0.13 | 49                 | 700                  | 2.50  |
| 1 1/4"              | 42.20                | 1.66  | 3.56    | 0.14 | 91                 | 1300                 | 3.38  |
| 1 1/2"              | 48.30                | 1.90  | 3.68    | 0.14 | 91                 | 1300                 | 4.05  |
| 2"                  | 60.30                | 2.37  | 3.91    | 0.15 | 176                | 2500                 | 5.44  |
| 2 1/2"              | 73.00                | 2.87  | 5.16    | 0.20 | 176                | 2500                 | 8.62  |
| 3"                  | 88.90                | 3.50  | 5.49    | 0.21 | 176                | 2500                 | 11.29 |
| 4"                  | 114.30               | 4.50  | 6.02    | 0.23 | 155                | 2210                 | 16.07 |
| 5"                  | 141.30               | 5.56  | 6.55    | 0.25 | 137                | 1950                 | 21.78 |
| 6"                  | 168.30               | 6.62  | 7.11    | 0.28 | 125                | 1780                 | 28.26 |
| 8"                  | 219.10               | 8.62  | 8.18    | 0.32 | 110                | 1570                 | 42.53 |
| 10"                 | 273.00               | 10.75 | 9.27    | 0.36 | 101                | 1430                 | 60.29 |
| 12"                 | 323.80               | 12.75 | 10.31   | 0.40 | 94                 | 1340                 | 79.65 |

| Composición Química | Máximo porcentaje |
|---------------------|-------------------|
| Carbono             | 0.3               |
| Manganeso           | 1.2               |
| Fósforo             | 0.05              |
| Azufre              | 0.06              |

36

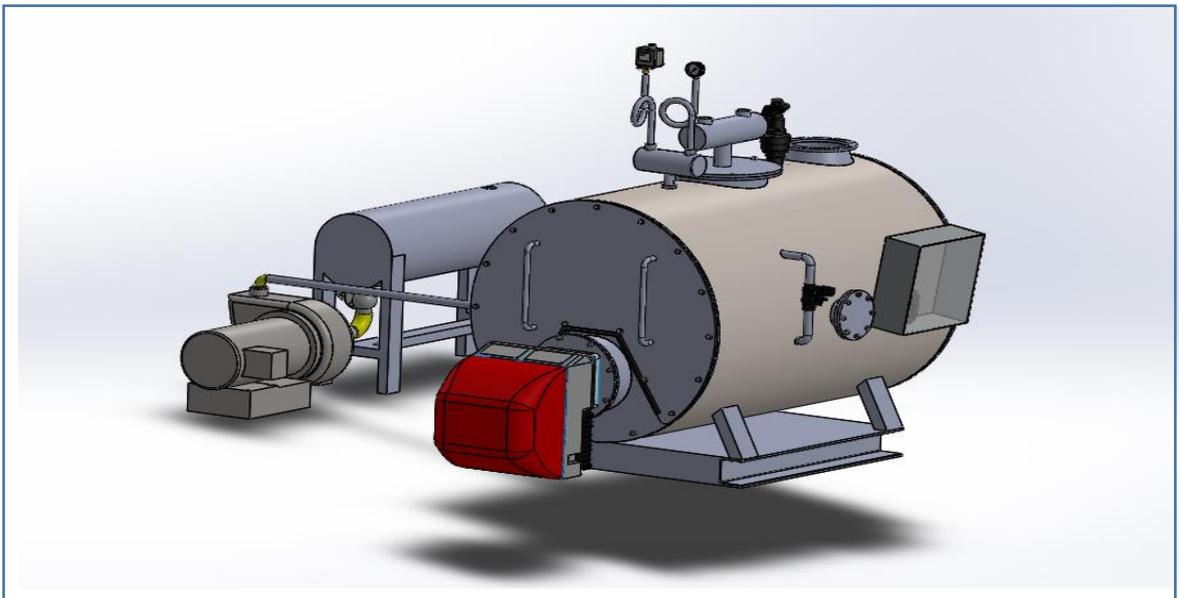
www.dipacmanta.com

**Anexo. 15 Presupuesto.**

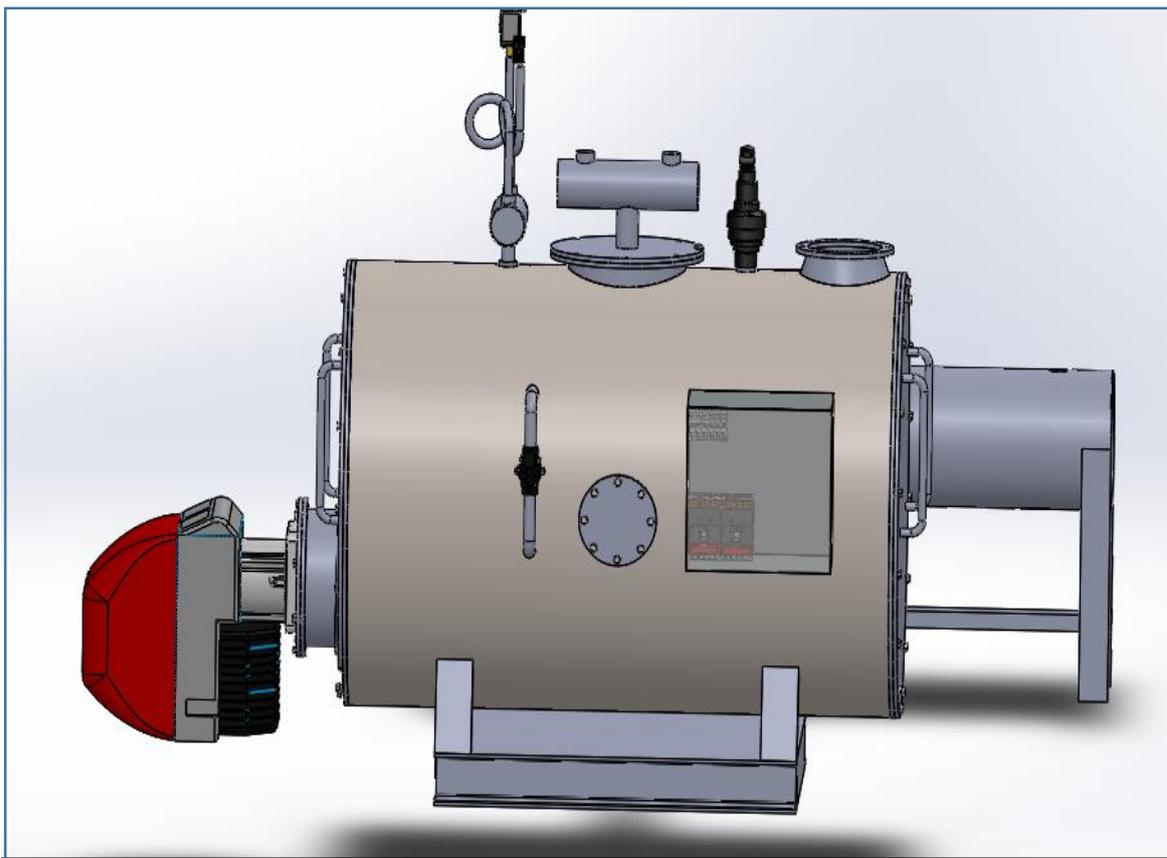
| <b>CANTIDAD</b>   | <b>MATERIALES</b>                                    | <b>COSTO \$</b> |
|-------------------|--|-----------------|
| 1                 | Plancha 15000mm x 6000mm x 12mm                      | 824,20          |
| 2                 | Plancha acero inox. 304 12200 mm x 24400mm x 0,4mm   | 51,00           |
| 1                 | Canal U 150 x 150 x 6mm                              | 51,20           |
| 2                 | Plancha 12200 x 24400 mm x 3mm                       | 240,00          |
| 7                 | Tubo CED 40 Ø 1½"                                    | 190,52          |
| 2m                | Tubo CED 40 Ø 12"                                    | 120,50          |
| 1                 | Tubo ISI Ø 1" x 6000m                                | 20,86           |
| 1m                | Tubo CED 40 Ø 3"                                     | 12,00           |
| 1m                | Tubo CED 40 Ø 4"                                     | 17,00           |
| 1m                | Acero de transmisión 1010                            | 30,00           |
| 6                 | Tubo CED40 Ø 1½"                                     | 48,00           |
| <b>ACCESORIOS</b> |  |                 |
| 1                 | Bomba de agua PK 100 1,5 HP marca Pedrollo           | 380,00          |
| 1                 | Quemador a diésel marca Riello 40 Gs 3               | 1200,00         |
| 1                 | Control de nivel Mc Donell & Miller L404F1078        | 980,00          |
| 1                 | Presostato Honeywell                                 | 240,00          |
| 1                 | Válvula de seguridad                                 | 190,00          |
| 1                 | Manómetro 0-100 PSI, Carátula de Ø4" con glicerina   | 75,00           |
| 2                 | Sifón Ø ¾"   | 20,00           |
| 1                 | Baliza sonora/visual                                 | 45,00           |
| 2                 | Contactores  | 80,00           |
| 2                 | Relé térmico   | 50,00           |
| 2                 | Botonera   | 12,00           |
| 1                 | Selector 3 posiciones                                | 8,50            |
| 2                 | Luz piloto led 220v                                  | 6,00            |
| 1                 | Botón Stop de Emergencia con anclaje                 | 12,50           |
| 1                 | Gabinete metálico 40 x 40                            | 60,00           |
| 3                 | Válvula compuerta 60 PSI Ø1" hierro fundido          | 135,00          |
| 1                 | Válvula check Ø 1" bronce                            | 35,00           |
| 1                 | Visor de nivel y válvulas McDonell&Miller mod.770012 | 65,00           |

| INSUMOS |                              |          |
|---------|------------------------------|----------|
| 10Kg    | Electrodo E6011x Ø 1/8"      | 24,00    |
| 15Kg    | Electrodo E7018 x Ø 1/8"     | 60,00    |
| 3       | Discos de pulir Ø 7" x 1/4"  | 9,00     |
| 3       | Discos de corte Ø 7 x 1/16"  | 4,50     |
| 2       | Electrodo plasma             | 24,00    |
| 10m     | Lana de vidrio 50 mm espesor | 40,00    |
| 40      | Pernos Ø5/8" x 2" NF         | 10,00    |
| 40      | Tuerca Ø5/8" NF              | 5,00     |
| 40      | Anillo presión Ø5/8" NF      | 3,50     |
| 30      | Perno Ø 1/2" x 2 "NF         | 7,50     |
| 10      | Perno Ø 3/8 x 1 1/2"NF       | 8,00     |
| 30      | Tuerca Ø1/2" NF              | 6.50     |
| 30      | Anillo presión Ø1/2          | 4,00     |
| 10      | Tuerca Ø 3/8" NF             | 2,50     |
| 10      | Anillo de presión Ø 3/8"     | 2,00     |
| -       | Cableado                     | 50,00    |
| 150Kg   | Cemento refractario          | 300,00   |
| -       | Mano de Obra                 | 4500,00  |
| -       | TOTAL                        | 10259,78 |

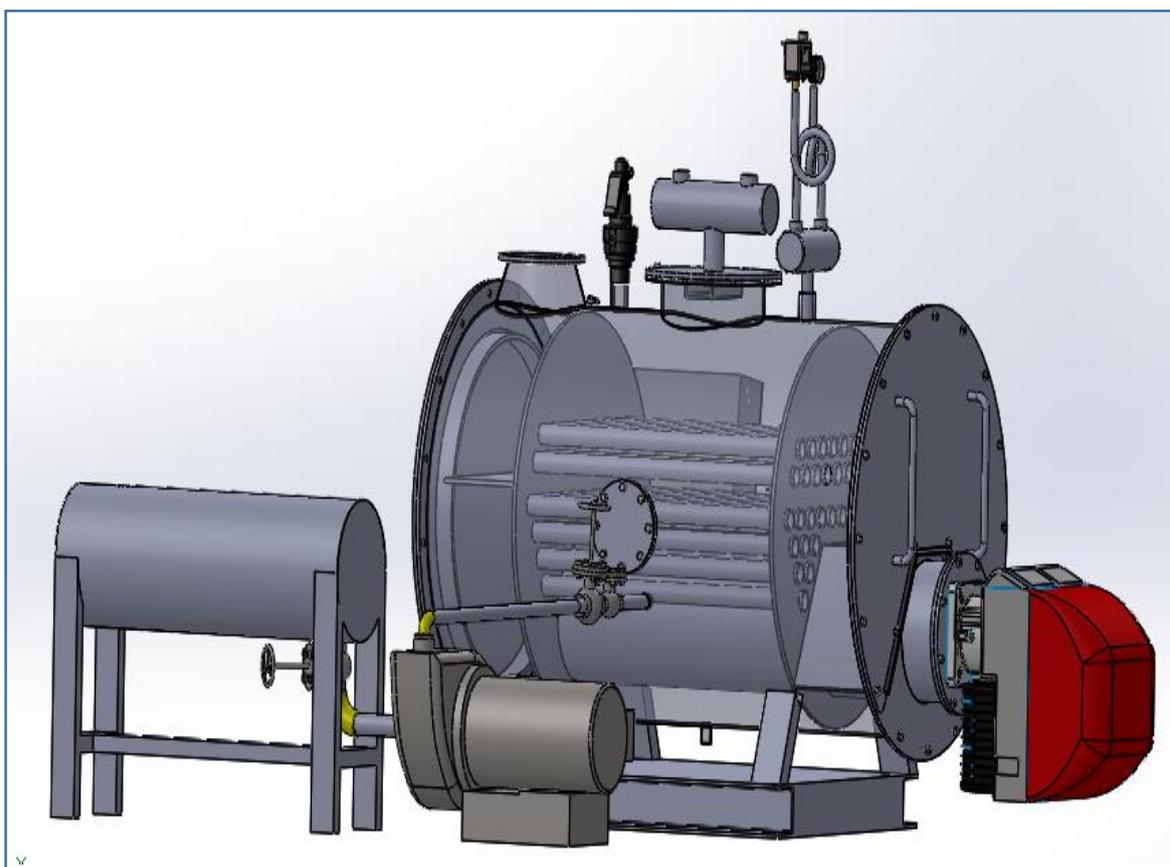
### Anexo. 16 Caldero 3D.



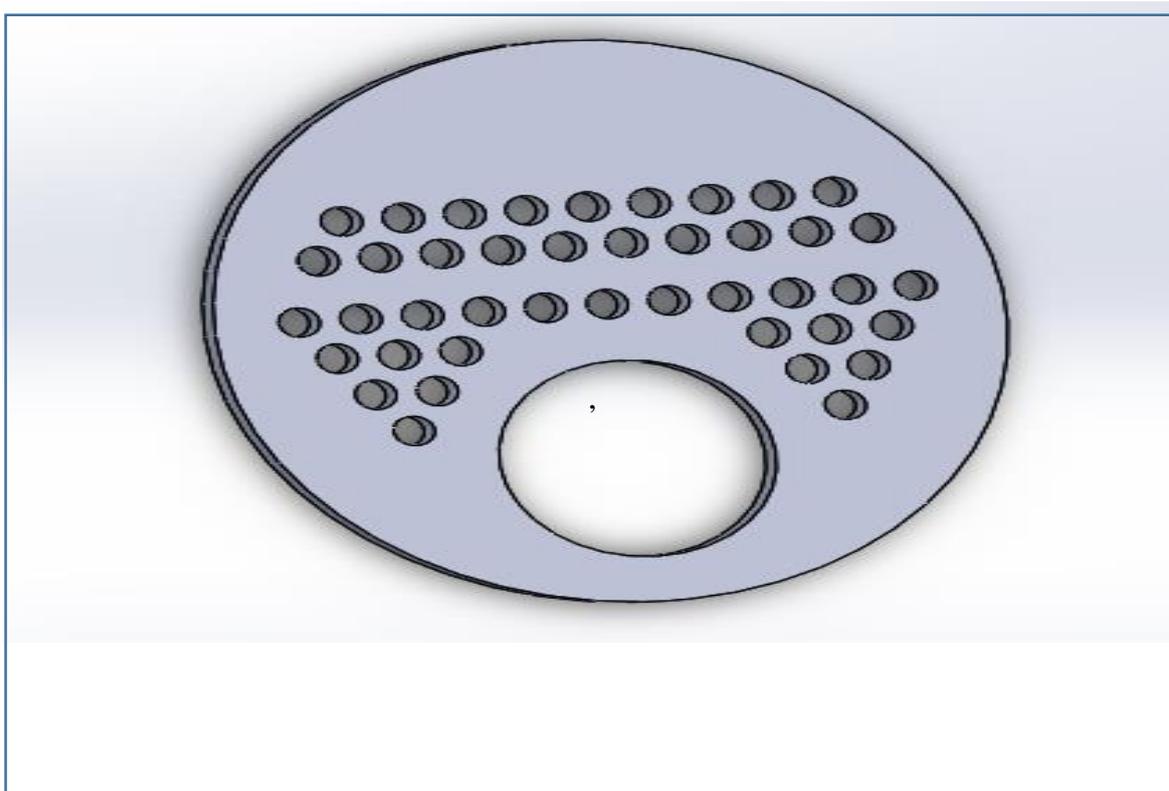
**Anexo. 17 Caldero vista lateral.**



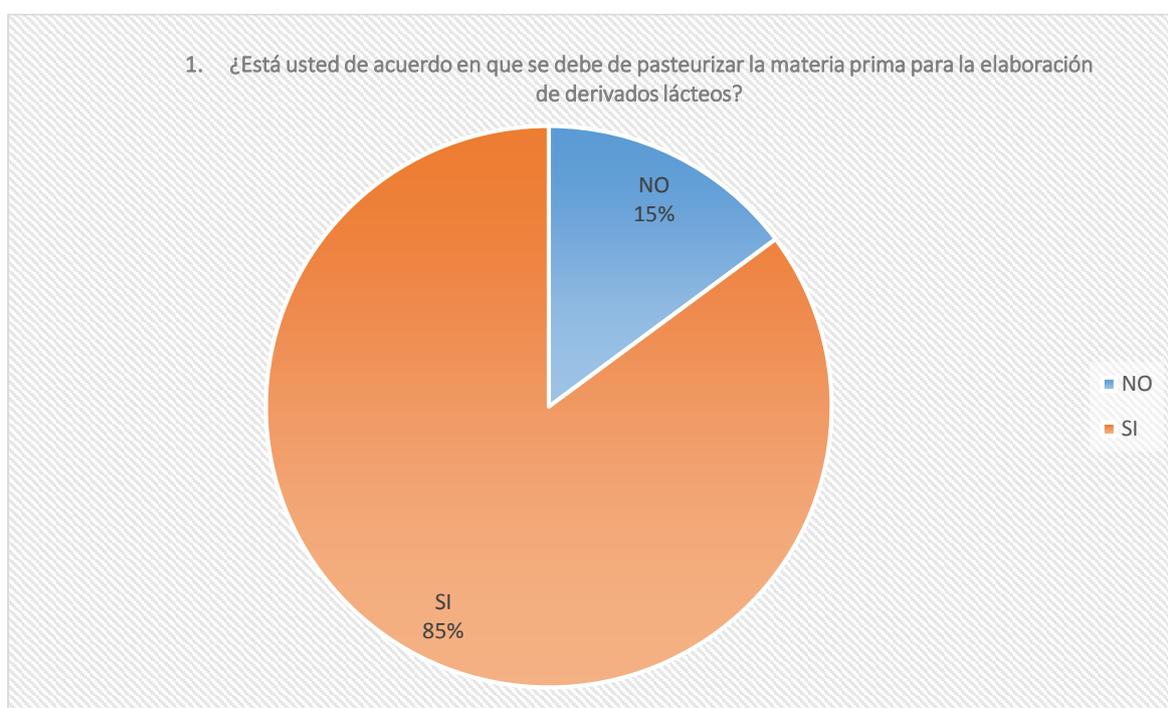
**Anexo. 18 Caldero vista interna.**



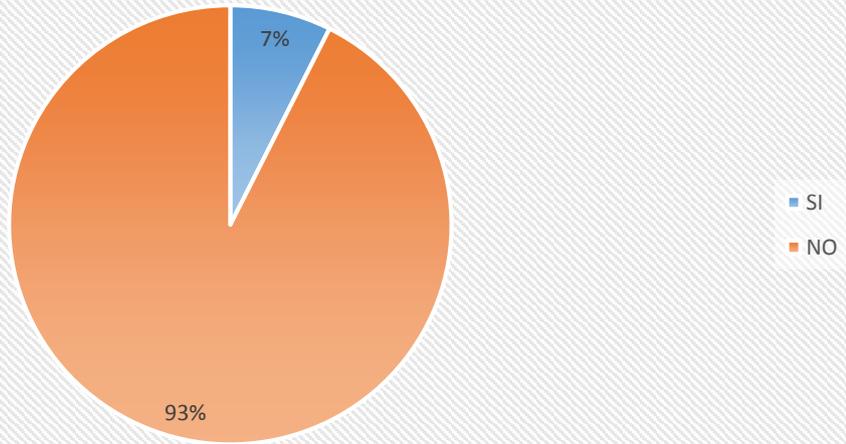
### Anexo. 19 Espejo vista 3D.



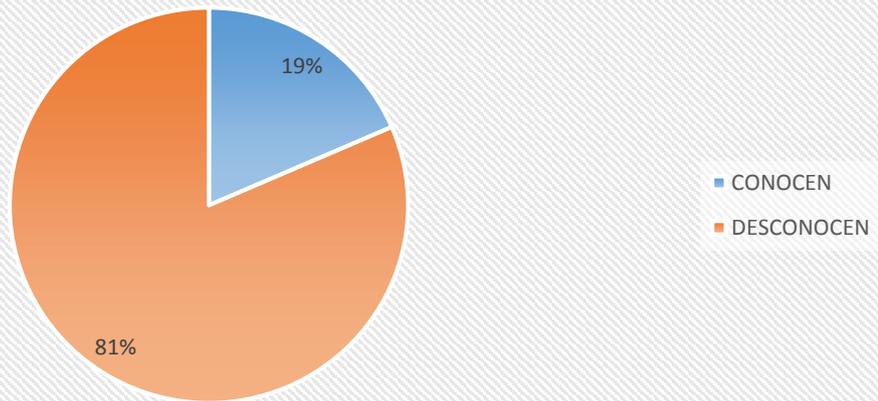
### Anexo. 20 Tabulación de la entrevista.



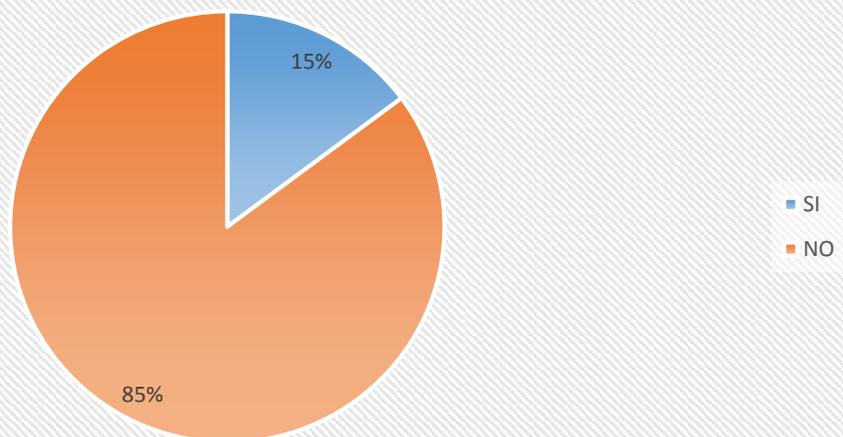
2. ¿Si el Gobierno Nacional suspende el subsidio al gas licuado de petróleo y exige la pasteurización de lácteos y sus derivados cree usted poder continuar laborando?



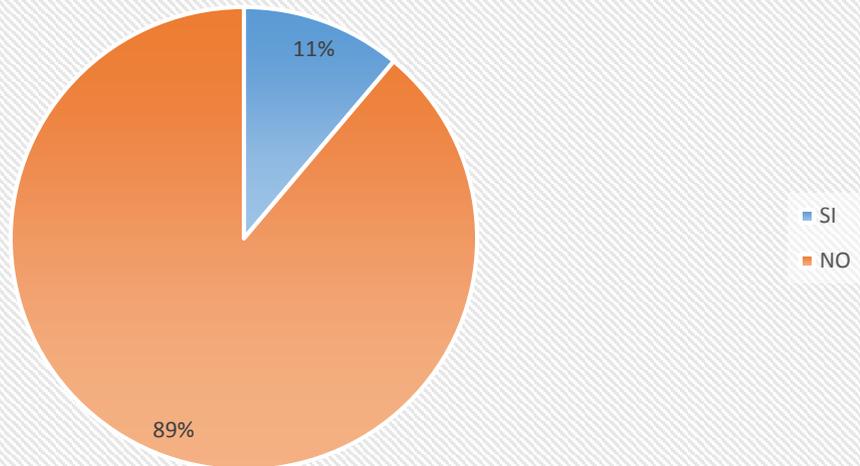
3. ¿Conoce usted algún sistema diferente al de quemador a gas (fuego directo), que sea más seguro al momento de operar, refiriendo a los posibles accidentes y contaminación del producto al momento de procesarlo?



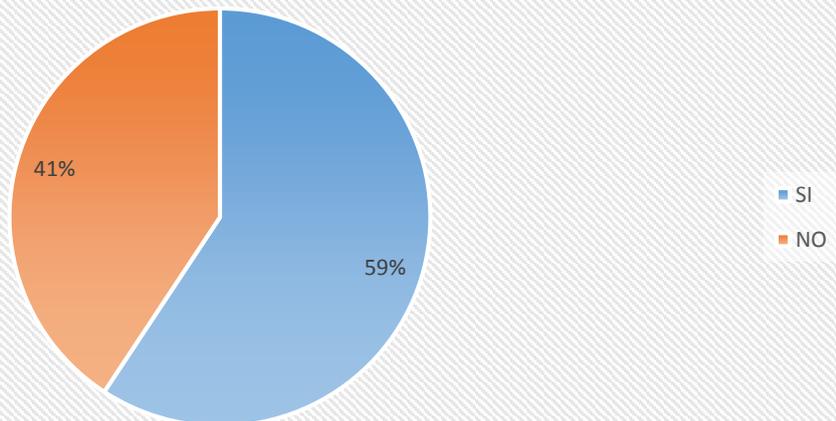
4. ¿Tiene conocimiento sobre calderas de vapor y sus bondades?



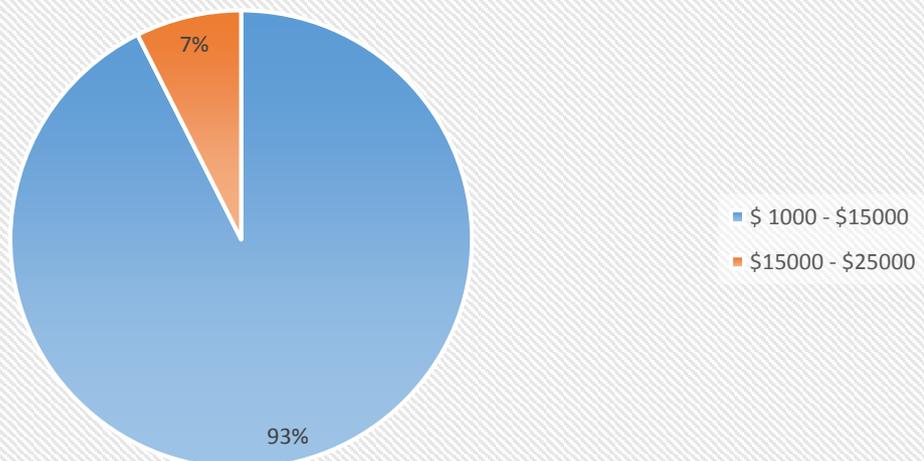
5. ¿Conoce usted de otro uso que podría darse al vapor en una industria de lácteos?



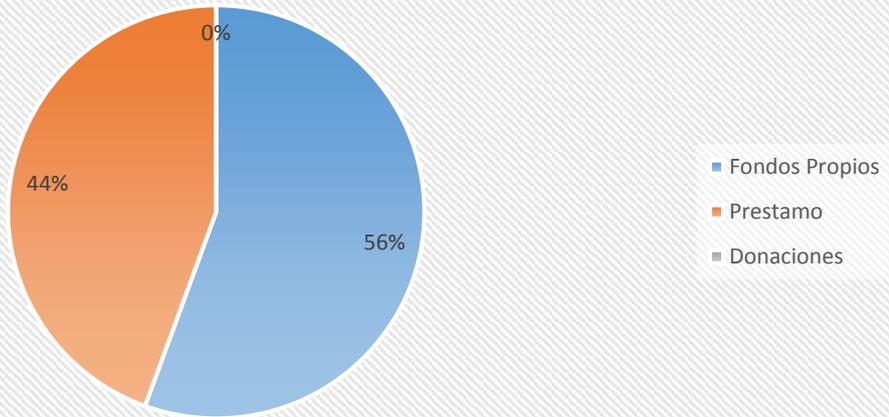
6. ¿Está usted en posibilidad de adquirir un equipo generador de vapor, para la tecnificación e innovación de la planta de producción actual?



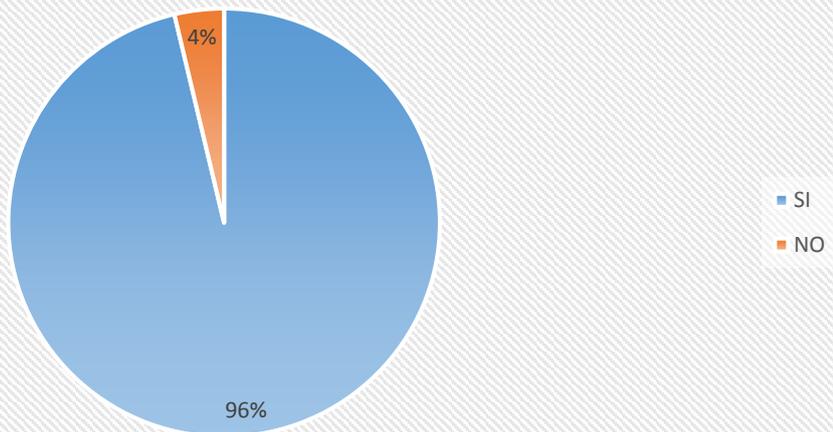
7. ¿Cuál es el monto dispuesto a realizar en la inversión de un equipo para generar vapor?



8. ¿De realizar la inversión en un equipo generador de vapor , el capital provendría fondos propios, préstamos o donaciones?



9. ¿Confía usted en la mano de obra ecuatoriana y la capacidad de los técnicos al momento de diseñar y construir un equipo determinado?



10. ¿Está usted de acuerdo con la presentación de un proyecto de diseño para la construcción de un generador de vapor eficiente y al alcance económico de los pequeños productores de lácteos, construido 100% en nuestro país?

