



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

TÍTULO DE LA TESIS

DISEÑO DE CALDERA DOMESTICA PARA QUEMAR BOSTA

Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller

MIGUEL JESÚS SUASNABAR DÁVILA

ASESOR: Enrique José Barrantes Peña

Lima, Junio del 2014

RESUMEN

El presente trabajo de tesis ha consistido en el diseño de una caldera de calefacción, para su uso doméstico en las zonas alto andinas del Perú, cuyo combustible es bosta

La caldera es de tipo pirotubular vertical, y tiene un suministro energético de 11.2 kW, calentando agua desde los 5°C hasta los 80°C, este aumento de temperatura en el agua se obtiene por la combustión de bosta a una razón de 4 kg/h en la cámara de combustión. El suministro energético que la caldera produce puede ser utilizado para dar servicios calefacción a una vivienda típica de las zonas alto andinas del país. Para el diseño térmico se utilizó la correlación de convección de Dittus Boelter, entre otros, para definir la geometría completa del equipo. El diseño mecánico, se ha realizado tomando como referencia la sección IV y VIII del código ASME demostrando la gran importancia que tiene el acogerse a los códigos que son los que se utilizan en el desarrollo real de la profesión.

La caldera vacía pesa 195 kg y cuenta con veinticinco tubos lisos en material A-53 de 1" de diámetro y 1.2 m de longitud, cuatro bridas en material A-36 para el acople de las distintas partes. El casco está construido en planchas de acero de material A-36 y tendrá un diámetro de 14", la cámara de combustión es de tipo de carga manual, y la evacuación de los gases de combustión será por medio de una chimenea de tiro natural.

De este modo el costo total de la caldera asciende a S/ 2100 de los cuales el 20% corresponde a elementos de seguridad como válvula de seguridad, manómetro, visores de nivel entre otros.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : DISEÑO DE CALDERA DOMÉSTICA PARA QUEMAR BOSTA

ÁREA : Energía # 334

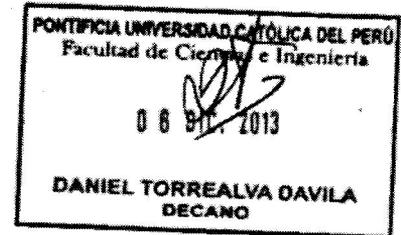
PROPUESTO POR : Ing. Enrique J. Barrantes Peña

ASESOR : Ing. Enrique J. Barrantes Peña

TESISTA : Miguel J. Suasnabar Dávila.

CÓDIGO : 2005.2289

FECHA : 20 de Noviembre del 2013



DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

En ciertos lugares y ambientes, para mantener condiciones de habitabilidad, se requiere un suministro de energía, especialmente en climas fríos. Este es el caso que presentan las zonas alto andinas del país, que por lo general deben recurrir a diversos medios de calefacción como quemar leña y bosta de ganado.

Por lo tanto se propone el presente proyecto con el objetivo de Diseñar una pequeña caldera de uso doméstico para quemar bosta de ganado y pueda satisfacer los requerimientos básicos de calefacción a una vivienda en las zonas alto andinas del Perú.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DISEÑO DE CALDERA DOMÉSTICA PARA QUEMAR BOSTA

Introducción

1. Características del Proyecto
2. Diseño de la caldera
3. Presupuesto del Proyecto

Conclusiones

Bibliografía

Planos

Anexos

Máximo: 100 páginas



Ing. Enrique J. Barrantes P.
Asesor







Dedicatoria:

A mi abuelita María Ángela por sus desvelos y preocupaciones , a mis padres Pilar y Miguel por todo su apoyo, por enseñarme que por mas difícil que sea el camino uno no debe rendirse, a mis hermanos Daniel y Jorge porque siempre estuvieron a mi lado alentándome.

CAPITULO 1: CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	2
1.1. Generalidades	2
1.2. Métodos de calefacción	3
1.3. Estado de la tecnología	6
1.3.1 Definición de caldera	6
1.3.2. Clasificación de las caleras	6
1.4.2.1 Clasificación en función del combustible utilizado	7
1.4.2.2 Clasificación en función de la presión de trabajo	11
1.4.2.3 Clasificación en función del contenido de los tubos	12
1.4.2.4 Clasificación en función del sistema de aplicación	16
1.5 Selección del proyecto definitivo	19
1.5.1. Lista de exigencias	19
1.5.2. Estructura de funciones	20
1.5.3. Conceptos de solución y proyecto óptimo	23
CAPITULO 2: DISEÑO DE LA CALDERA	32
2.1. Consideraciones previas	32
2.2. Requerimiento energético	32
2.3. Diseño térmico	35
2.3.1. Datos de entrada para el diseño térmico	35
2.3.2. Calor suministrado por la bosta	37
2.3.3. Análisis Termodinámico	37
2.3.4. Aire y Combustible requerido por la caldera	38
2.3.5 Estequiometria de la combustión	39
2.3.6 Temperatura de los gases de Gases a la entrada del intercambiador	41
2.3.7 Temperatura de los Gases a la salida del intercambiador	41
2.4. Cálculo del Número y Longitud de Tubos de Humo del Haz Tubular de la caldera	43
2.4.1 Calculo del coeficiente global de transferencia de calor	43

3. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

PLANOS

ANEXO 1: Análisis de la bosta

ANEXO 2: Mapa Eólico de Puno

ANEXO 3: Cálculo de Chimenea

ANEXO 4: Tipo de juntas soldadas para cálculo de espesor de casco

ANEXO 5: Datos de Pernos

ANEXO 6: Detalles de empaques

ANEXO 7: Factor de pandeo w

ANEXO 8: Propiedades del Perfil L de lados Iguales

ANEXO 9: Ficha técnica: válvula de seguridad

ANEXO 10: Ficha técnica: visor de nivel

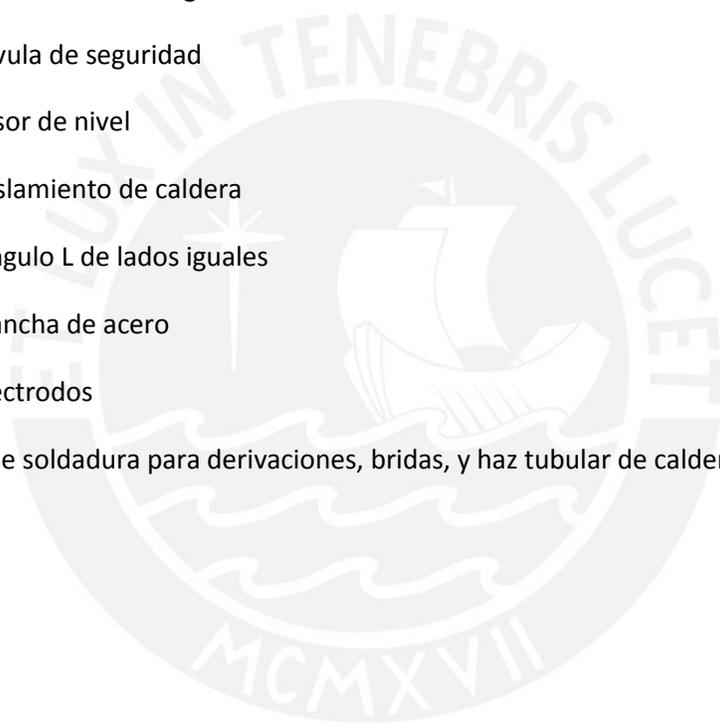
ANEXO 11: Ficha técnica: aislamiento de caldera

ANEXO 12: Ficha técnica: ángulo L de lados iguales

ANEXO 13: Ficha técnica: Plancha de acero

ANEXO 14: Ficha técnica: Electroodos

ANEXO 15: Detalles típicos de soldadura para derivaciones, bridas, y haz tubular de caldera



INTRODUCCIÓN

Cada año en nuestro país muchas personas son afectadas por las condiciones climáticas frías de zonas alto andinas, especialmente los niños menores de 5 años y las personas de la tercera edad mayores de 65 años (según el *Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación SINPAD*, el número de personas afectadas por las bajas temperaturas rodea las 86,000 personas a nivel nacional¹), ante esta situación, se plantean diversas alternativas para enfrentar el efecto climatológico que ocurre en las zonas alto andinas, y una de ellas considerando la actividad agropecuaria es el aprovechamiento de la bosta como combustible para proporcionar servicio de calefacción. Es así que en este trabajo se plantea el Diseño de un equipo que utilice bosta como combustible para generar un fluido caliente que posteriormente sea usado como medio de calentamiento en una vivienda.

En este equipo se debe generar agua caliente, de modo que posteriormente pueda ser usada para el diseño de diferentes sistemas de calefacción, desde el más simple que puede ser hacer pasar el fluido por tuberías que rodeen una habitación logrando de esa manera mediante transferencia de calor aumentar la temperatura ambiental de la habitación.

Este trabajo por lo tanto busca diseñar una caldera de biomasa, cuyo combustible principal sea la bosta, por la evidente escasez de combustibles fósiles en las zonas rurales y de esta forma convirtiendo la bosta en un recurso energético de gran disponibilidad y de fácil obtención. (Según estudios de Factibilidad, el 30% de familias del ámbito rural pueden reunir entre 20 y 30 kg de bosta diariamente²)

Por ello, el objetivo general consiste en diseñar una caldera de aplicación doméstica cuyo combustible principal sea la bosta de animales en zonas alto andinas.

¹ Datos actualizados al 20 de setiembre del 2013, según la página <http://www.observatoriocambioclimatico.org/node/4464>

² Estudio de factibilidad para un programa de Nacional de Biogás Domestico en Perú, SNV Latín América Abril 2012

Y específicamente:

- Definir la tecnología y requerimientos térmicos de la aplicación en este proyecto
- Definir las partes principales que constituirán este proyecto.
- Seleccionar la tecnología para calderas de calefacción de alcance doméstico.
- Seleccionar los principales componentes con los cuales constará la caldera.
- Diseñar una Caldera Doméstica cuya fuente energía será la bosta.

En el primer capítulo, se investiga el estado de la tecnología de las calderas de calefacción, se analizan las diversas alternativas de solución comparando los valores técnicos y económicos de cada concepto de solución y se selecciona el proyecto óptimo. Esto da como resultado el diseño de una caldera de calefacción de agua caliente de baja presión tipo pirotubular vertical, con ingreso de carga manual y tiro natural.

En el segundo capítulo, se realiza el diseño y los cálculos de la caldera de bosta. Se dimensiona las diferentes partes que la componen. Luego se diseña el haz tubular de la caldera, de tal manera que el área de transferencia de calor sea el necesario para que los gases productos de la combustión cedan el calor al agua elevando su temperatura hasta los 80°C.

En los anexos se proporcionan extractos de las fuentes utilizadas (Datos de la Bosta, propiedades de los materiales e instrumentos a usar, especificaciones técnicas, etc) para el desarrollo del Cálculo.

Finalmente, se incluye los planos necesarios para la construcción de la caldera de Bosta.

CAPITULO 1:

CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

1.1. GENERALIDADES

En las zonas alto andinas como lo son las zona sur, centro y nororiente del país, las condiciones climáticas frías son extremas, teniendo temperaturas mínimas que pueden llegar a los 0 °C y en sus picos a varios grados bajo cero, repercutiendo esto directamente en la salud de las familias, en especial de los niños y las personas ancianas, aumentando las infecciones respiratorias e incluso llegando a la mortandad por un inadecuado tratamiento. Familias que si bien cuentan con diversos sistemas de calefacción básicos estos presentan deficiencias, y al no contar con un suministro de energía adecuado no se les permite contar con mejores sistemas de calefacción.

Se ha observado en los últimos años que es cada vez más común el uso de energías renovables como una principal fuente de energía, sin embargo, al ser este tipo de energías muy estacional, con frecuencia se debe complementar o recurrir a otros medios, como es por ejemplo el uso de la bosta como fuente de energía, que según investigaciones realizadas por el ministerio de energía y minas es cada vez más utilizado como fuente energía en las zonas alto andinas, debido a que por las mismas condiciones de vida en estas es una energía que está disponible durante todo el año, convirtiéndose así la bosta en una fuente de energía bastante atractiva.

El presente proyecto por lo tanto desarrollara el diseño de una caldera cuyo combustible sea la bosta y de esta manera pueda proporcionar requerimientos básicos de calefacción a una vivienda típica para una familia de 6 personas (2 adultos y 4 niños) durante épocas de bajas temperaturas, mejorando así la calidad de vida de las familias y disminuyendo la mortandad por enfermedades respiratorias.

1.2. METODOS DE CALEFACCION

Para poder realizar el diseño de la caldera que pueda brindar servicios de calefacción en las zonas alto andinas primero se hará un breve estudio de los principales sistemas de calefacción ya existentes para poder sobrellevar el frío y sus principales deficiencias:

CLARABOYAS DE POLICARBONATO:

Se trata de un sistema de calentamiento a través de claraboyas de policarbonato colocadas en el techo, las cuales facilitan el ingreso de energía solar en el interior de la vivienda incidiendo en un muro o pared especial, cuyo material tiene la capacidad de almacenar la energía calorífica durante el día para irradiarla durante la noche. Con esta vivienda bioclimática unifamiliar estaríamos superando las deficiencias de la construcción tradicional fría, oscura e ineficiente.



Figura 1.1 Claraboya de Policarbonato [1]

INVERNADERO DE PLÁSTICO:

Un almacenamiento de energía solar mediante la construcción de un invernadero de plástico agro film adosado a la casa. Este invernadero tiene la finalidad de calentar el aire y sirve también como regulador de la humedad en el interior de la vivienda gracias a las plantas, hortalizas o frutales que se cultivan para la alimentación familiar, una buena solución por cierto para combatir la desnutrición infantil



Fig.1.2 Invernadero de Plástico [2]

COCINA O FOGÓN:

Una tercera alternativa es emplear una cocina o fogón especial en el interior de la vivienda unifamiliar. La energía residual que se genera en la cámara de combustión del fogón y en la chimenea durante el proceso de cocción de alimentos será aprovechado para ayudar al sistema de calefacción durante la noche. Además, con el uso de estos fogones se mejorarían las condiciones de saneamiento intradomiciliario, ya que se minimizaría el excesivo consumo de la leña, lo cual ayudaría a proteger los árboles de la deforestación, a esto podemos agregar que este proceso evitaría el deterioro de los utensilios de cocina y eliminaría la presencia de hollín, tanto en el techo como en las paredes.



Fig.1.3 Cocina en zonas alto andinas [3]

MUROS TROMBE:

El muro trombe es un colector de energía solar compuesto de una superficie vidriada o de plástico transparente, una cámara de aire y una masa térmica. El sol incide en la superficie vidriada produciendo, por el efecto invernadero, el calentamiento del aire dentro de la cámara. La masa de tierra (adobe o ladrillo)

Ubicada detrás de la cámara de aire, impide el enfriamiento y fuga del aire caliente y almacena el calor producido, el que luego es irradiado dentro de la vivienda. El aire calentado en la cámara circula por convección e ingresa a la vivienda por conductos especialmente previstos.

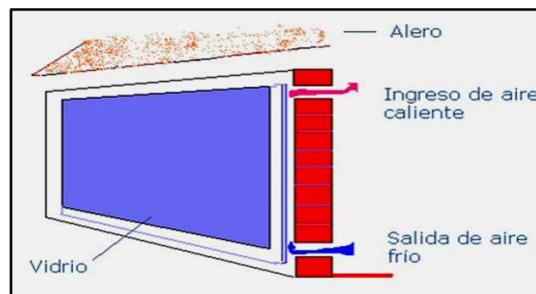


Fig.1.4 Esquema de funcionamiento del muro trombe [4]

DEFICIENCIAS ENCONTRADAS EN LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN USADAS:

Como se pudo observar existen diferentes sistemas de calefacción que se vienen incorporando en las zonas altoandinas en estos años, pero estos sistemas presentan una desventaja fundamental, estos dependen mucho de la incidencia y la posición que deben tener respecto del sol, para poder absorber y aprovechar al máximo la energía del sol. La orientación es importante, lo recomendable es ubicar la vivienda para que los elementos que producen calor miren hacia el Norte. Esta es la ubicación más deseable, pero no siempre se puede disponer de terrenos libres que tengan estas posibilidades. Es frecuente que los espacios disponibles estén muy pegados al de los vecinos o ubicados en zonas de riesgo, o sean muy pequeños por lo que las familias se ven obligadas a “ganarle espacio al cerro”, es así que frecuentemente se deben hacer muros de defensa y otros trabajos adicionales para darle seguridad al espacio, razón por la cual, no siempre es posible contar con la deseable orientación.[5]

Por ejemplo el muro Trombe siempre debe estar emplazado a favor del sol, la función de este muro depende totalmente de su posición por consecuencia no puede ser utilizado en cualquier geografía.

Esta es la principal ventaja que presenta una Caldera para quemar bosta, ya que su correcto funcionamiento es independiente de su posición respecto del sol, Su principal fuente de energía será la bosta. Este punto a favor es el que hace viable el que se diseñe una Caldera para quemar bosta, y se de servicios de calefacción para la casa a través de ella.

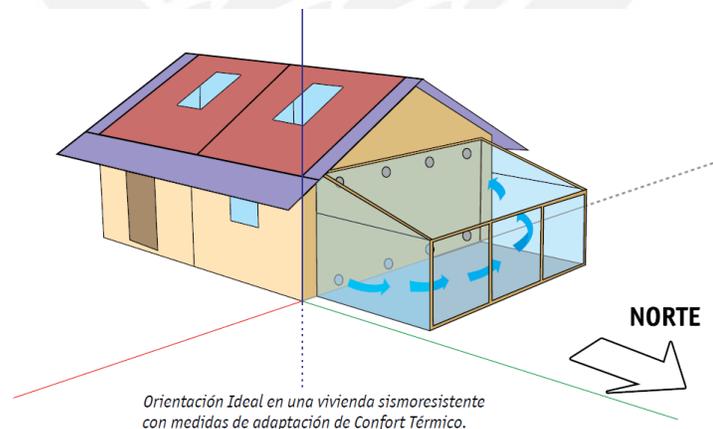


Figura 1.5 Orientación ideal en una vivienda sismo resistente con adaptación de Confort térmico [6]

1.3. ESTADO DE LA TECNOLOGIA

1.3.1. DEFINICION DE CALDERA

Es el aparato en el que se transfiere la energía térmica, procedente de cualquier fuente energética, a un fluido, generalmente en estado líquido, denominado fluido caloportador, que será posteriormente utilizado con diferentes fines, dependiendo del tipo de industria.

[7]

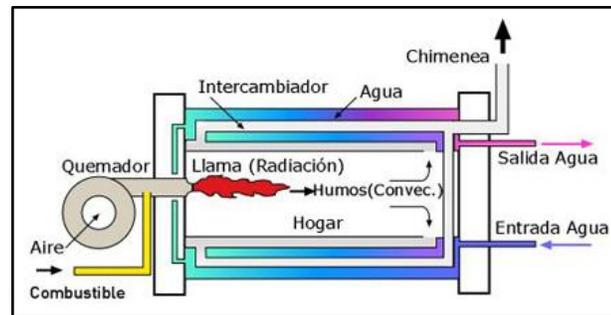


Figura 1.6 Esquema de una caldera y sus partes principales [8]

Una caldera es una máquina, diseñada para transmitir calor a un fluido a elevada presión y temperatura, existen en el mercado, desde pequeñas instalaciones locales para la producción de vapor para cocción de alimentos, planchado en serie de ropa, tratamientos sépticos de instrumentales y labores similares, con vapor de relativa baja temperatura y presión, hasta enormes instalaciones industriales, utilizadas para la alimentación de turbinas de generación de electricidad, y otros procesos industriales donde se requiere vapor en grandes cantidades, a altísimas temperaturas y presiones.

1.3.2. CLASIFICACION DE LAS CALERAS

Existen diferentes criterios para poder clasificar una caldera, como por ejemplo la presión de funcionamiento, el combustible utilizado, tipo de recorrido del fluido, material de construcción, posición, entre otras.

A continuación se presentan las clasificaciones más usadas:

- En función del combustible utilizado:
 - Sólido
 - Líquido
 - Gaseoso
- En función de la presión de trabajo:
 - Calderas de baja presión

- Calderas de alta presión
- Calderas de potencia
- En función del contenido de los tubos:
 - Calderas de tubos de humo o pirotubulares
 - Calderas Acuotubulares
- En función del sistema de aplicación:
 - Sistema de calefacción a vapor
 - Sistema de calefacción por agua caliente
 - Sistema de proceso de vapor a alta presión
 - Sistema de generación eléctrica a vapor.

1.3.2.1 CLASIFICACION EN FUNCION DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO

COMBUSTIBLES SOLIDOS

En la actualidad las industrias que trabajan con materia prima basada en compuestos orgánicos aprovechan los residuos de sus procesos de producción para generar vapor. Tal es el caso de las empresas madereras, azucareras, etc.

A continuación se describen los combustibles sólidos más utilizados:

a. Leña:

Es un combustible sin poder de explosión, pose alto poder calorífico, es un elemento biodegradable aun después de su proceso de combustión, su precio es relativamente económico comparado con combustibles derivados de hidrocarburos. Un aspecto importante a la hora de tratar la leña es su humedad. Para poder ofrecer sus más altas cotas de poder calorífico ha de estar seca.



Figura 1.7 Caldera de combustible sólido: Leña [9]

b. Carbón Vegetal:

El carbón vegetal es un combustible que se elabora carbonizando la madera. La madera y otros residuos vegetales se calientan en un horno a temperaturas superiores a los 500 °C y en ausencia de aire. Con ello se elimina la mayor parte del agua y se consigue elevar el poder calorífico de la madera (de 15.000 a 20.000 kJ/kg) hasta aproximadamente 30.000 kJ/kg el del carbón. [10]

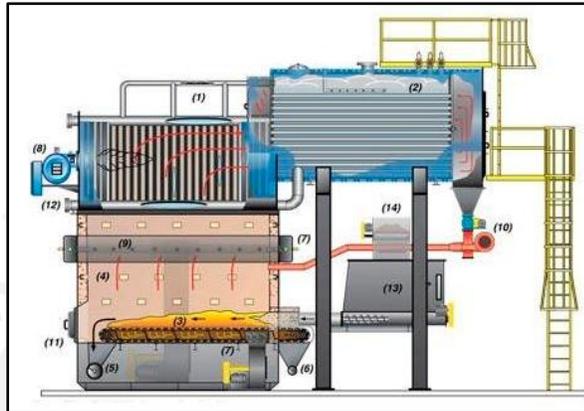


Figura 1.8 Caldera de combustible sólido: Carbón [11]

c. Carbón Natural:

Es un combustible fósil que se ha formado durante millones de años por el depósito y caída a la tierra de material vegetal. Cuando estas capas se compactan y se calientan con el tiempo, los depósitos se transforman en carbón. El carbón es muy abundante en comparación con otros combustibles fósiles. Los analistas predicen en ocasiones que a nivel mundial el uso del carbón aumentara cuando haya escasez de petróleo. Los suministros actuales de carbón pueden durar del orden de 200 años o más.

Muchos países dependen del carbón como fuente energética porque no pueden permitirse la utilización de petróleo o gas natural al ser más costoso. La China e India son los mayores usuarios de carbón como fuente energética. [12]

d. El bagazo:

Son los residuos de materia prima luego de haberse extraído su jugo. Una clase de bagazo es el residuo leñoso de la caña de azúcar. En estado fresco estos bagazos

contienen un 40% de agua. Suelen ser utilizados como combustible de las propias azucareras. También se utilizan en las empresas papeleras por la celulosa que contienen.

e. La Biomasa:

La biomasa se define como el combustible que se obtiene de recursos biológicos como la madera, residuos agrícolas y estiércol.

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía de una instalación [13]

- Biomasa natural (p.ej.: podas naturales).
- Biomasa residual seca (p.ej.: serrín, cáscara de almendra).
- Biomasa residual húmeda (p.ej.: residuos ganaderos).
- Cultivos energéticos (p.ej.: cardo, girasol, miscanto).

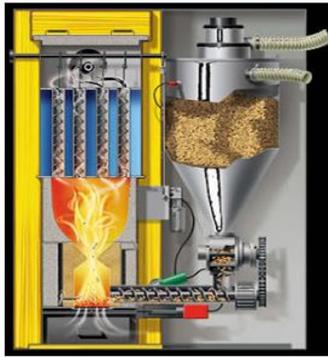


Figura 1.9 Caldera de Biomasa [14]

COMBUSTIBLES LIQUIDOS

a. El Diesel

Se obtiene de la fracción destilada del petróleo denominada gasóleo. Tiene propiedades diferentes a la gasolina; pues esta contiene hidrocarburos más livianos. El combustible diesel es más pesado y aceitoso, se evapora más lentamente y su punto de ebullición es más alto, incluso supera al del agua. Resulta menos económico que el bunker porque requiere más refinación.

b. El Bunker

El bunker también conocido como combustóleo o fuel oil es un combustible residual de la destilación y craqueo del petróleo. Es un producto viscoso y con cierto grado de impurezas cuyas características generales exigen métodos especializados para su empleo. Es de uso industrial como combustible en calderas para generar vapor o energía eléctrica.

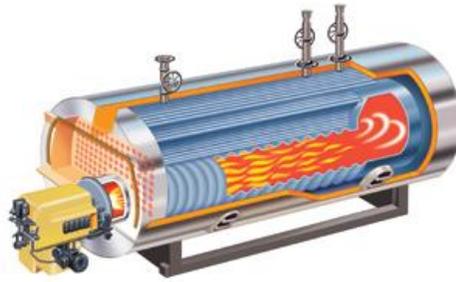


Figura 1.10 Caldera de combustible líquido: diesel o bunker. [15]

COMBUSTIBLES GASEOSOS

a. GLP

El gas licuado de petróleo (GLP) es la mezcla de gases condensables presentes en el gas natural, o disueltos en el petróleo. Los componentes aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de condensar de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que los GLP son una mezcla de propano y butano. El GLP no tiene olor ni color, es más pesado que el aire, no es tóxico pero en su estado líquido produce quemaduras en la piel.

b. Gas Propano

El propano es un hidrocarburo, compuesto de hidrógeno y carbono, que se extrae del petróleo en las operaciones de refinación o del gas natural y gases asociados, en los yacimientos de petróleo. En su estado natural, el gas propano es gaseoso, pero sometido a temperaturas ambiente y baja presión se licua, llegando a reducir su volumen 250 veces, lo que hace posible su manipulación, almacenamiento y transporte.

c. Gas Natural

Es un recurso fósil gaseoso que es muy versátil, abundante y relativamente limpio si se compara con el carbón o petróleo. Al igual que el petróleo su origen procede de los microorganismos marinos depositados. Es una fuente de energía relativamente poco explotada y nueva. En 1999, se utilizaba más carbón que gas natural. Sin embargo en la actualidad el gas natural empieza a ganar terreno en países desarrollados. De cualquier manera, la gente teme que al igual que el petróleo también el gas natural desaparecerá. Algunos científicos han previsto que esto ocurrirá a mediados o finales del siglo 21. El gas natural consiste fundamentalmente en metano (CH_4). Se comprime en volúmenes pequeños en grandes profundidades en la tierra. Al igual que el petróleo, se extrae mediante perforación. Las reservas de gas natural están más distribuidas a nivel mundial que el petróleo.[16]

1.3.2.2 CLASIFICACION EN FUNCION DE LA PRESION DE TRABAJO

CALDERA DE BAJA PRESION:

Comprende todas las calderas de vapor que no exceden de los 1.05 kg/cm^2 y todas las calderas de agua caliente que operan a presiones que no exceden de 11.25 kg/cm^2 y cuyas temperaturas no sobrepasen los $121 \text{ }^\circ\text{C}$ [17]

CALDERA DE ALTA PRESION:

Comprende todas las calderas de vapor que generan una presión mayor a los 1.05 kg/cm^2 manométricos, y todas las calderas de agua caliente que operan a presiones mayores de 11.25 kg/cm^2 y cuyas temperaturas sobrepasan los $121 \text{ }^\circ\text{C}$. Las pequeñas calderas de alta presión se denominan calderas miniatura según normativa de E.E.U.U.³

CALDERA DE POTENCIA:

Es una caldera de vapor de agua o de fluido que trabaja por encima de 1.05 kg/cm^2 y excede el tamaño de una caldera miniatura. Esto también incluye el calentamiento de agua o calderas de agua caliente que funcionan por encima de los 11.2 kg/cm^2 o $121 \text{ }^\circ\text{C}$. Las calderas de potencia a menudo se llaman calderas de alta presión.

³ Según ASME (American Society of Mechanical Engineering) una caldera miniatura de alta presión es aquella que no excede los siguientes límites: 16in de diámetro interior de coraza, superficie de calefacción de 1.08m^2 , volumen de cámara de presión de 0.135 m^3 y 100 PSI de presión. Si excede estos límites se trata de una caldera de potencia

1.3.2.3 CLASIFICACION EN FUNCION DEL CONTENIDO DE LOS TUBOS

La forma más usual de definir el tipo de caldero es según el contenido de los tubos internos. Existen dos grandes grupos de calderos: los pirotubulares (transportan los gases de combustión) y acuotubulares (transportan agua).

CALDERAS PIROTUBULARES

Se denominan con este nombre a aquellas calderas en las que los productos de la combustión circulan por el interior de los tubos que forman el haz de intercambio, estando rodeados por el fluido caloportador

Están constituidas normalmente por un hogar cilíndrico, de tamaño suficiente para alojar a la llama producida en la combustión del combustible y uno o dos pasos de tubos.

La presión máxima de servicio no suele sobrepasar el vapor de 2.000 kPa, permitiendo la combustión de combustibles líquidos y gaseosos. Su rendimiento es alto, sin complicaciones constructivas, estando situado, para diseños correctos, alrededor del 87%. Las potencias de utilización oscilan entre valores de 20.000 y 10.000.000 kCal/h, por lo que representan un alto porcentaje del parque de calderas existente en la actualidad en el campo de la calefacción. [18]

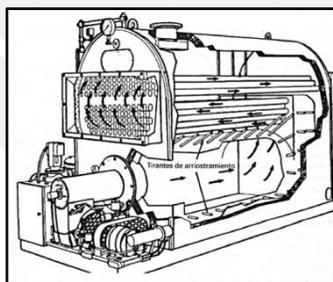


Figura 1.11 Caldera Pirotubular [19]

Las calderas pirotubulares se clasifican en tubulares de retorno horizontal, tipo marina escocesa, horizontal económica, tubular vertical y caldera vertical sin tubos. Cada tipo posee características diferentes.

Calderas tubulares de retorno Horizontal [20]

Este tipo de calderas es de construcción sencilla y económica, la caldera de retorno Horizontal HRT (Figura 1.12) consta de una envolvente cilíndrica, hoy en día normalmente soldada, con tubos de igual diámetro que corren a lo largo de la envolvente y a través del volumen ocupado por el agua.

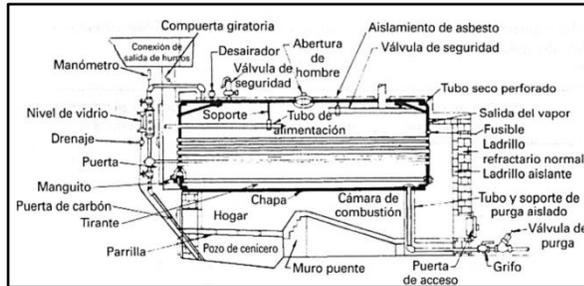


Figura 1.12 Caldera de retorno Horizontal (HRT) [21]

La construcción HRT es de construcción sencilla, tiene un bajo precio de coste y es un buen generador de vapor, pero la caldera de hogar interior SM (marina escocesa) la ha reemplazado. Una desventaja es que los depósitos duros de incrustación son difíciles de arrancar de las superficies de agua de la filas de los tubos principales.

Calderas Tipo Marina Escocesa

El mayor número de calderas en uso hoy en día en plantas comerciales y pequeñas plantas industriales son las calderas marinas escocesas (SM). Esta caldera fue usada originalmente para servicio marino porque el hogar forma parte integrante del conjunto de la caldera, permitiendo una construcción más compacta que requiere poco espacio para su capacidad de producción. La presión de trabajo normalmente no excede los 20 kg/cm², ya que a presiones más altas obligarían a espesores de carcasa demasiados grandes. Su producción de vapor máxima se encuentra alrededor de 22.5 tn/h. Por encima de esta capacidad de producción generalmente se utilizan las calderas de tubos de agua. [22]



Figura 1.13 Caldera Pirotubular horizontal de tipo marina escocesa [23]

En calderas de diámetro grande, es práctico utilizar más de un hogar, dos, tres o incluso cuatro hogares se utilizan en las grandes calderas. La Figura 1.13 es una vista en corte seccional de un modelo de cuatro pasos. Esta unidad mantiene una velocidad de gases de manera continua. Como los gases calientes atraviesan los cuatro pasos como se ve en la figura 1.14, transfieren más calor al agua y así se enfrían, ocupando menos volumen a medida que progresan por los diferentes pasos. El número de tubos se reduce notablemente para mantener la velocidad elevada de los gases. Mejor cuantos pasos de gases puedan utilizarse, hoy el límite práctico es cuatro.

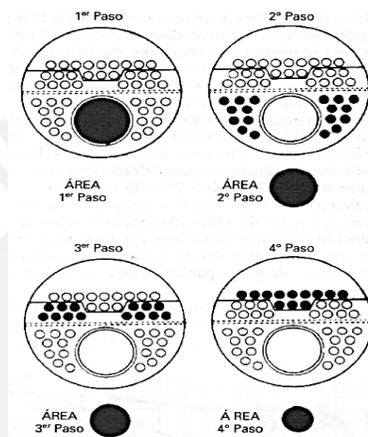


Figura 1.14 Pasos de los gases en una caldera SM [24]

Caldera horizontal económica

La caldera económica (Figura 1.11) tiene más superficie de calefacción por metro cuadrado que la caldera de retorno horizontal. La cantidad de ladrillo refractario y obra civil es mucho menor, por tener su propio armazón. Posee las mismas desventajas y limitaciones que una caldera de retorno Horizontal

Calderas Verticales

Entre las calderas de tubos de humos las verticales son las primeras que se crearon, encontrando aplicación donde el espacio disponible en planta es reducido. Requieren muy poca obra civil de ladrillos en general ninguna. Los productos de la combustión pasan a través del haz de tubos directamente a la chimenea (Figura 1.15)

Una principal ventaja de estas calderas es su costo relativamente bajo, su puesta en marcha rápida y la facilidad de transporte.

Adolecen de la desventaja de que al tener poco volumen de agua, con relación a su producción de vapor deben operarse con mucho cuidado para evitar explosiones. [25]

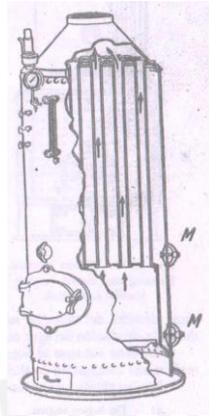


Figura 1.15 caldera Pirotubular vertical [26]

CALDERAS ACUOTUBULARES

Como su propio nombre indica, son aquellas calderas en las que el fluido caloportador circula por el interior de los tubos, estando inmersos estos en los gases o llamas producidas por la combustión.

Están constituidas normalmente por un gran hogar o zona de radiación y según su diseño poseen uno o dos pasos para los gases, formados estos pasos por paneles de tubos y que, en ocasiones, son ocupados parcialmente por economizadores y recalentadores.

Los combustibles utilizados son los mismos que los empleados en las calderas pirotubulares, permitiendo, sin embargo, mayores presiones y potencias que estas últimas. Normalmente son competitivas a partir de 10.000.000 kCal/h y su presión de servicio puede alcanzar los 10.000 kPa. De estos datos se desprende la escasa utilización que este tipo de calderas tiene en el ámbito de la calefacción. [27]

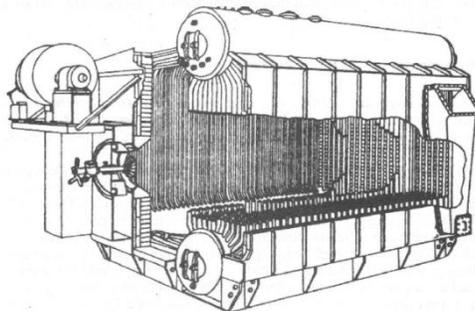


Figura 1.16 Caldera Acuotubular [28]

1.3.2.4 CLASIFICACION EN FUNCION DEL SISTEMA DE APLICACIÓN

Las especificaciones del sistema de caldera darán una idea inmediata de la capacidad, presiones y temperaturas que se requerirán. Otra especificación importante es la del combustible, así como su valor para la plata. Los sistemas pueden agruparse según las aplicaciones siguientes:

- Sistema de calefacción a vapor
- Sistema de calefacción por agua caliente.
- Sistema de proceso de vapor a alta presión
- Sistema de generación eléctrica a vapor

Sistema de Caldera de Calefacción a Vapor:

Las Calderas de calefacción a vapor son normalmente unidades de baja presión de construcción en acero o fundición, aunque las calderas de acero de alta presión pueden usarse también para grandes edificios o zonas de complejos grandes. Normalmente si se hace esto, válvulas reductoras de presión en las líneas de vapor bajan la presión en los radiadores, convectores o baterías de vapor. El termino calefacción a vapor también implica que generalmente todos los condensados retornan a la caldera en un sistema de circuito cerrado. La presión máxima permitida en una caldera de calefacción a vapor de baja presión es de 1.05 bar. Las calderas de fundición para utilización de vapor están limitadas a una presión de trabajo (MWP) de 1.05 kg/cm² por el código ASME de calderas y calefacción. Las calderas de función están restringidas específicamente por el código ASME, sección IV, para ser utilizadas exclusivamente para calefacción de vapor de baja presión. Si se utilizan para trabajo en procesos, significara servicio pesado de vaporización continua y gran cantidad de agua de reposición. Esto produciría rápidos cambios de temperatura en una caldera de fundición, produciéndose tensiones y roturas de piezas. De este modo, el Código restringe su uso para el servicio de calefacción a vapor solamente.

Los sistemas de calefacción a vapor utilizan sistemas de retorno por gravedad o por condensación mecánica. Sus diferencias son las siguientes. Cuando todos los elementos de calefacción (como radiadores, convectores, y baterías de vapor) están colocados por encima de la caldera y no se utilizan bombas, se denomina retorno por gravedad, a todos los retornos de condensado a la caldera por gravedad. Si hay instalados purgadores o bombas para ayudar al retorno de condensados, el sistema se denomina de retorno

mecánico. Además de los purgadores, este sistema normalmente comprende un depósito de condensados, una bomba de condensados o un tanque o bomba de vacío. [29]

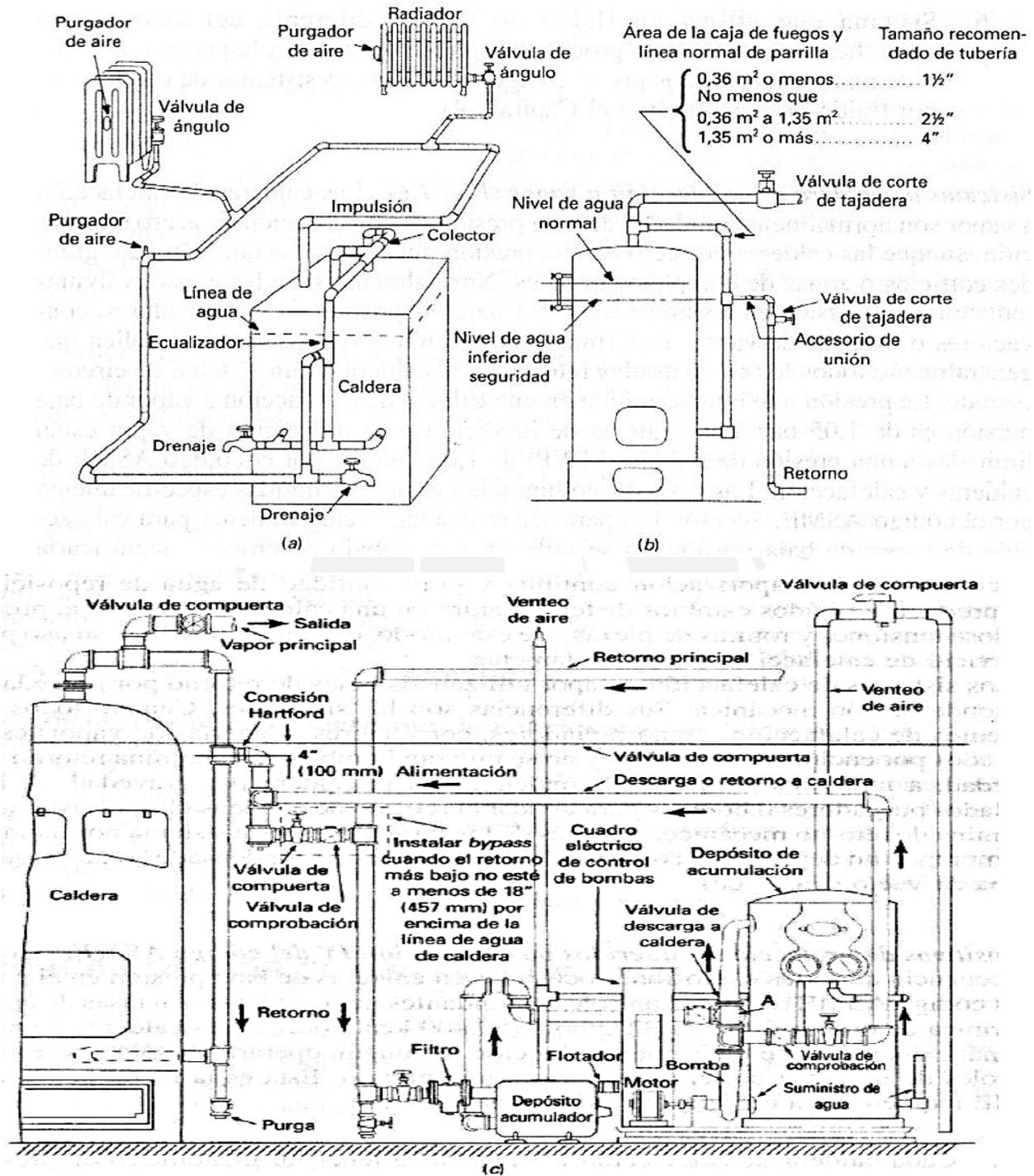


Figura 1.17 Sistema de Calefacción por vapor (a) Sistema monotubular de venteo de aire. (b) Bucle de retorno de tubería de tipo Hartford. (c) Sistema de tubo de retorno de vacío [30]

Sistema de caldera de calefacción por agua caliente:

Como punto de partida hay tres clases generales de sistemas de agua caliente: sistemas de suministro de agua caliente (En España, ACS) para lavado y usos similares; sistemas de suministro de calefacción espacial del tipo de baja presión, a menudo denominados sistemas de calefacción de edificios y sistemas de agua de alta temperatura y alta presión, también denominados sistemas “supertherm”, operando a temperaturas de más de 250 F (121 °C) y presiones de más de 360 psi (11.2 Kg/cm²).

Ambos sistemas, los de calefacción por agua caliente y los de agua a alta temperatura requieren algún tipo de vaso de expansión para permitir la dilatación del agua cuando se calienta. Sin permitirse un aumento correspondiente de presión. Un problema corriente de los sistemas de calefacción-agua caliente es que el vaso de expansión pierde su colchón de aire, de forma que el sistema de agua no puede expandirse sin elevar la presión del sistema. Si este problema se desprecia, la presión puede subir hasta el punto de que la válvula de seguridad puede abrirse y tirar agua.

Así, es necesario un chequeo periódico de la presión y un posible drenaje del vaso de expansión puede ser necesario para restablecer el colchón de aire. [31]

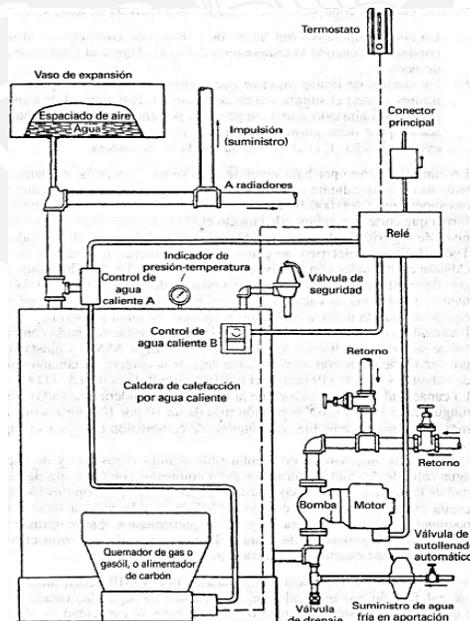


Figura 1.18 Componentes necesarios para un sistema de calefacción por agua caliente [32]

1.5 SELECCIÓN DEL PROYECTO DEFINITIVO

Para escoger el proyecto definitivo de nuestra caldera de calefacción, seguiremos el procedimiento realizado en los cursos de Proyecto Mecánico 1 y 2

1.5.1. LISTA DE EXIGENCIAS

En la Tabla 1.1 se presenta la lista de exigencias con los cuales deberá cumplir la caldera.

Tabla 1.1. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		Edición: Rev. 1
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA CALDERA PARA QUEMAR BOSTA	Fecha: 26/08/2012
		ELABORADO POR: MJSD
Deseo o Exigencia	DESCRIPCION	
E	Objetivo: Diseñar una caldera cuyo combustible sea principalmente la bosta para poder brindar servicios de calefacción en zonas alto andinas.	
D	Localización: La locación donde se realizará la tesis, será el departamento de Puno, por ser un área de bajas temperaturas.	
E	Combustible: El principal combustible que utilizará la caldera será Bosta.	
D	Energía: No se requerirá en lo posible energía eléctrica ni de ningún otro tipo para el funcionamiento de la caldera, si se requiere se utilizara una batería	
D	Agua: El Agua utilizada para por la caldera tiene que ser de fácil acceso por las personas de la zona, pueden ser provenientes de ríos, lagos, etc. Pero se le dará un tratamiento al agua, previo a usarse.	
E	Ergonomía: El sistema debe de ser de fácil manejo y entendimiento para el usuario.	
D	Fabricación: Los elementos del sistema deben poder fabricarse o adquirirse en talleres o t	
D	Tamaño: Se buscara que la caldera ocupe el menor espacio posible, solo el necesario para los requerimientos energéticos.	
E	Seguridad: Deberá diseñarse de manera que no se ponga en riesgo la integridad física de los usuarios, siguiendo normas de seguridad en el diseño. Además se deberán tomar consideraciones para no dañar el sistema ni el medio ambiente..	

Tabla 1.1. Lista de exigencias (continuación)

E	Montaje:
	La caldera debe tener componentes que sean de fácil instalación, para un fácil montaje, y un fácil mantenimiento.
E	Transporte:
	La caldera debe ser de fácil transporte.
D	Costos:
	Los costos de los componentes y del sistema total deben ser los menores posibles para que el campesino pueda pagarlos.
E	Plazos:
	Se entrega los planos definitivos de la caldera el día 20/11/13.

1.5.2. ESTRUCTURA DE FUNCIONES

En esta parte se realizará un proceso de abstracción de varias alternativas que tendrá como propósito abarcar la mayor cantidad de posibles soluciones. Con estas posibles soluciones se procederá a agruparlas hasta conseguir así un concepto óptimo, para esto se tiene que tener en cuenta el estado de la tecnología existente, nuevos materiales, nuevos procesos de fabricación, etc.

ABSTRACCION:

Aquí se realizará una abstracción en donde se imaginara que dentro de la caja negra (Figura 1.19) se realizaran diversos procesos técnicos, donde se transformarían las entradas en el interior de la caja negra, para así obtener los resultados que vendrá a ser las salidas tal como mostramos a continuación.



Figura 1.19 Caja negra de la caldera

Siguiendo con el diseño de la caldera partiendo de la caja negra, se procede a realizar la estructura de funciones, como se muestra en la Figura 1.20

Donde las funciones planteadas son:

- **Alimentación de Agua:** Comprende el suministro de agua al sistema.
- **Alimentación de Bosta:** Comprende el suministro de bosta a la cámara de combustión.
- **Ingreso de Aire:** Comprende el suministro de aire a la cámara de combustión
- **Combustión:** comprende la combustión de la bosta dentro de la cámara de combustión.
- **Intercambiador de Calor:** Comprende el intercambio de calor entre los gases de combustión y el agua fría.
- **Extracción de Gases:** Comprende la expulsión de los gases de la combustión después de haber pasado por los tubos de humos
- **Extracción de cenizas:** Comprende el retiro de cenizas que se formaron producto de la combustión

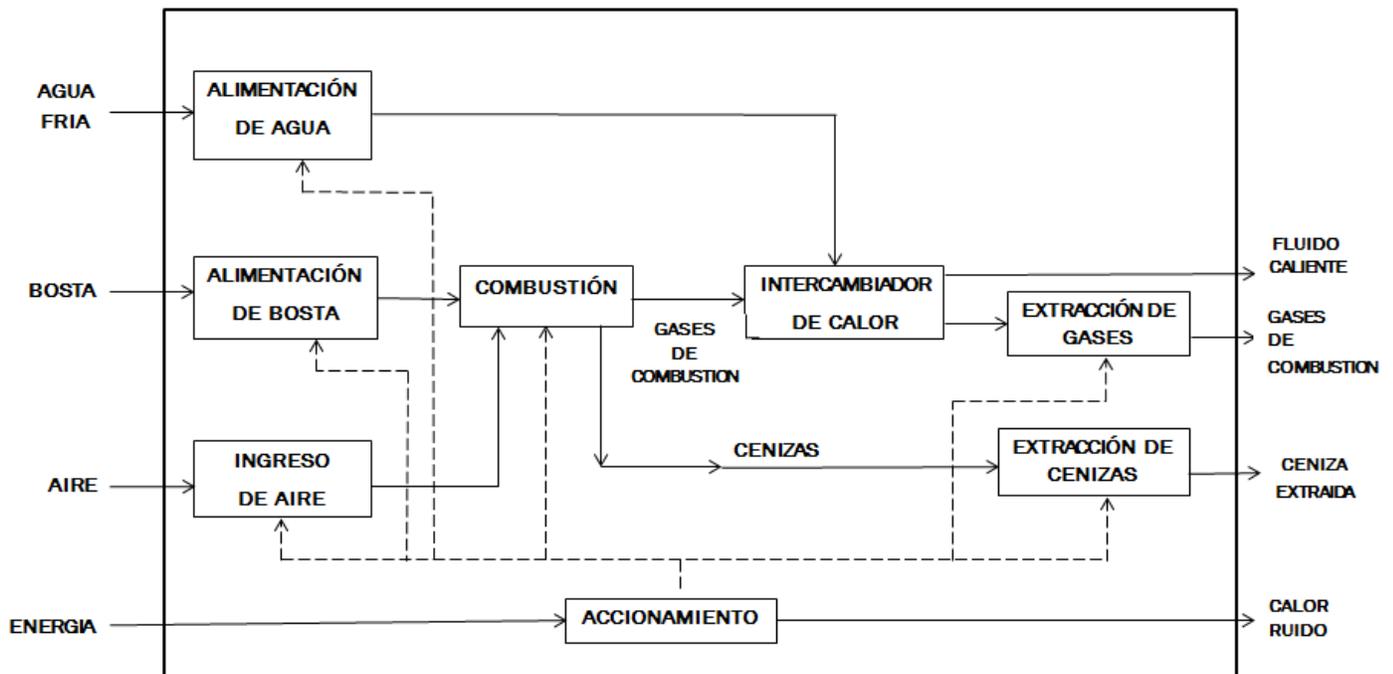


Figura 1.20 Estructura de funciones de la caldera

Partiendo de esta estructura de funciones se procedió a realizar la matriz morfológica, que se muestra en la Tabla 1.2 Donde además se plantean tres alternativas de solución, que serán evaluadas a posteriormente.

Tabla 1.2 Matriz Morfológica

MATRIZ MORFOLOGICA DE LA CALDERA			
ALIMENTACION DE BOSTA			
	MANUALMENTE	TORNILLO SIN FIN	FAJA TRANSPORTADORA
COMBUSTION			
	LLAMA	RESISTENCIA ELECTRICA	
SUMINISTRO DE AIRE			
	NATURAL	VENTILADOR	
INTERCAMBIADOR DE CALOR			
	Pirotubular Vertical	Pirotubular Horizontal	Acuotubular
ALIMENTACION DE AGUA			
	GRAVEDAD	BOMBA	
EXTRACCION DE GASES			
	TIRO NATURAL	TIRO FORZADO	
EXTRACCION DE CENIZA			
	MANUALMENTE	TORNILLO SIN FIN	FAJA TRANSPORTADORA

Conceptos de Solución:

- Solucion 1
- Solucion 2
- Solucion 3

1.5.3. CONCEPTOS DE SOLUCION Y PROYECTO OPTIMO

1.5.3.1 CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

En esta parte se trata de bosquejar las posibles soluciones que luego evaluaremos, con estos bosquejos se logrará visualizar con mayor énfasis el concepto y de esta manera se podrá decidir cuál será nuestro concepto óptimo:

Concepto de solución 1

La bosta ingresará a la cámara de combustión de la caldera mediante un mecanismo de tornillo sin fin, donde se depositará en la parrilla de combustión, el aire ingresará a la cámara de combustión mediante un ventilador, la bosta se calentará mediante una resistencia hasta que empiece el proceso de combustión. Los gases de la combustión de la bosta pasarán a través de un intercambiador Pirotubular vertical de un solo paso, donde transferirá el calor a el agua que se encuentra exterior a los tubos de humo, el agua empezará a evaporar y saldrá por la tubería de vapor, el vapor condensado regresará a la caldera mediante una bomba de condensados, los humos productos de la combustión saldrán por la chimenea, la chimenea será de tiro forzado. (Figura 1.21)

Concepto de solución 2

La bosta ingresará a la cámara de combustión de la caldera manualmente, una persona la irá suministrando cada cierto tiempo, la depositará en la parrilla de combustión, el aire ingresará a la cámara de combustión de manera natural por diferencia de densidad provocada por una diferencia de temperaturas, la bosta se calentará sometiéndola a contacto directo con una llama. Los gases de la combustión de la bosta pasarán a través de un intercambiador Pirotubular vertical de un solo paso, donde transferirá el calor a el agua que se encuentra exterior a los tubos de humo, el agua empezará a elevar su temperatura y saldrá por la tubería de agua caliente, los humos productos de la combustión saldrán por la chimenea, la chimenea será de tiro natural. (Figura 1.22)

Concepto de solución 3

La bosta ingresará a la cámara de combustión manualmente, una persona la ira suministrando, la depositará en la parrilla de combustión, el aire ingresara a la cámara de combustión de manera natural por diferencia de densidad el aire, la bosta se calentara sometiéndola a contacto directo con una llama. Los gases de la combustión de la bosta pasaran a través de un intercambiador Pirotubular horizontal de dos pasos, donde transferirá el calor a el agua que se encuentra exterior a los tubos de humo, el agua empezará a evaporar y saldrá por la tubería de vapor, el vapor condensado regresara a la caldera mediante una bomba de condensados, los humos productos de la combustión saldrán por la chimenea, la chimenea será de tiro forzado. (Figura 1.23)

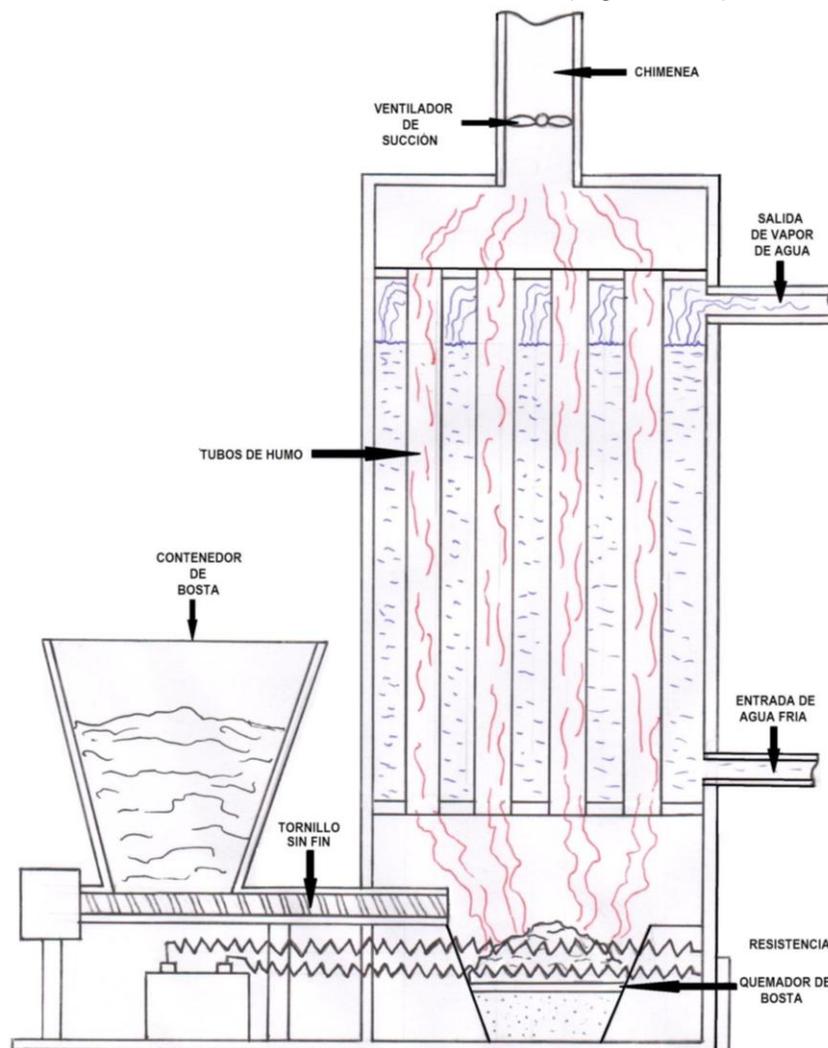


Figura 1.21 Concepto de solución 1

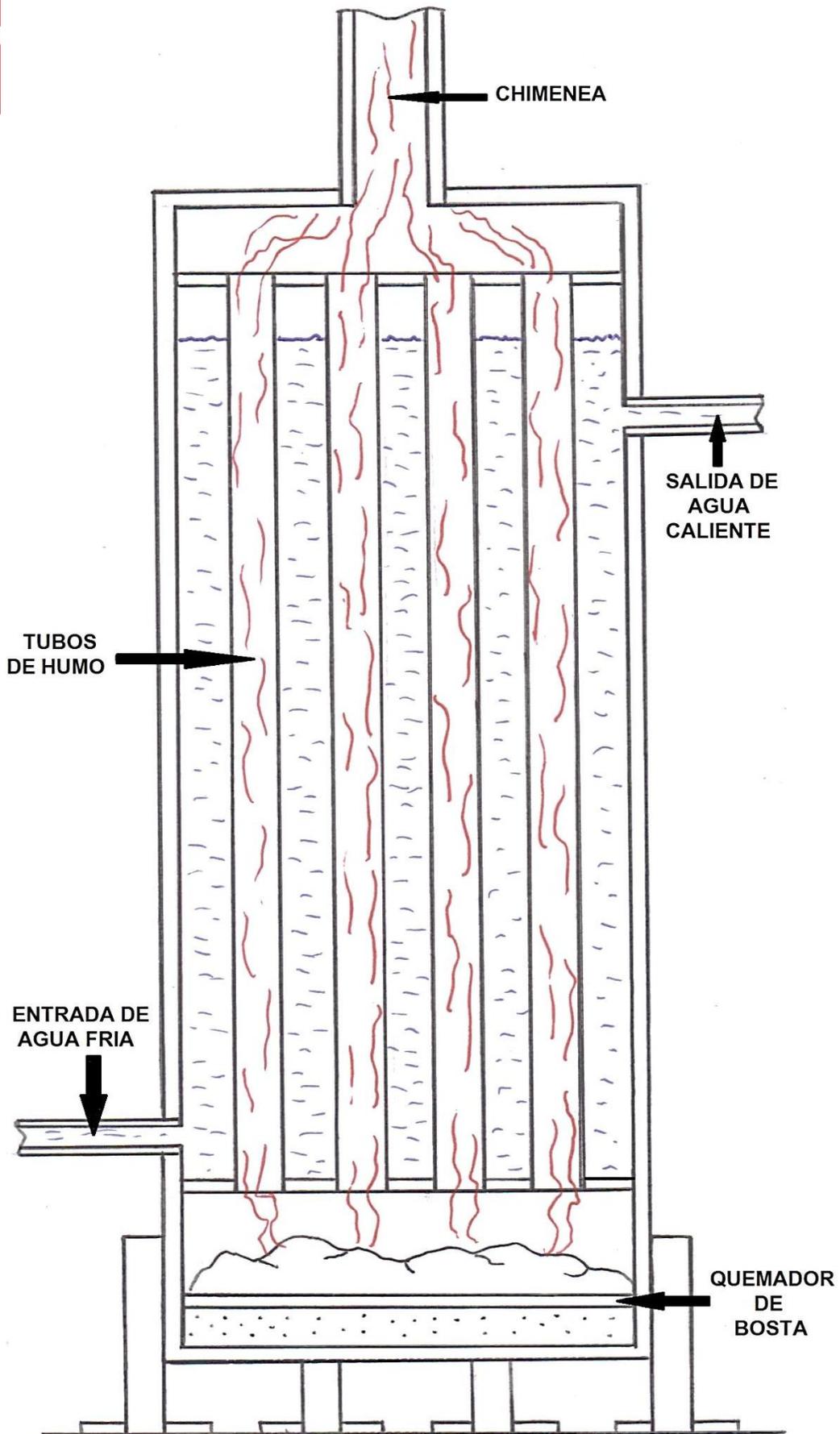


Figura 1.22 Concepto de solución 2

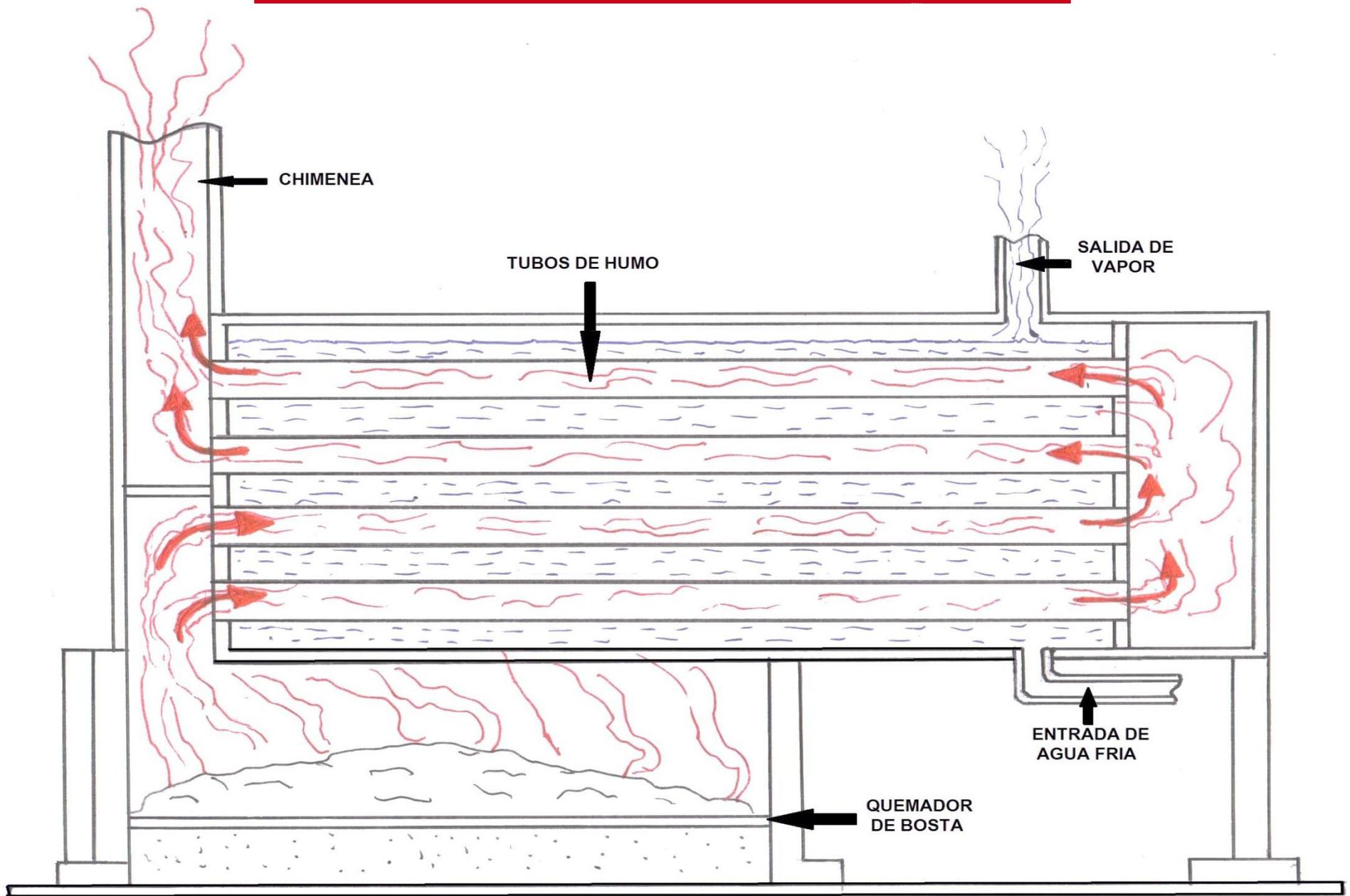


Figura 1.23 Concepto de solución 3

1.5.3.2 EVALUACION TECNICO - ECONOMICA DE LAS PROPUESTAS

Para elegir el proyecto óptimo cada concepto de solución será sometida a una evaluación desde el punto de vista técnico y económico.

Se indicarán diferentes puntos de comparación, donde a cada concepto de solución se le asignará un valor (1 a 5), dependiendo de cómo satisfaga la propuesta al punto en mención.

A los puntos de comparación también se les asignará un peso, dependiendo de cuanta trascendencia tengan con el desarrollo del proyecto, este peso será denominado como el factor de influencia.

Tabla 1.3 Puntaje Asignado

SIGNIFICADO DEL PUNTAJE ASIGNADO				
MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1	2	3	4	5

Tabla 1.4 Factor de Importancia

SIGNIFICADO DEL FACTOR DE IMPORTANCIA		
IMPORTANTE	MUY IMPORTANTE	IMPRESINDIBLE
1	2	3

Tabla 1.5 Evaluación Económica

EVALUACION ECONOMICA										
PUNTO DE EVALUACION	FACTOR DE IMPORTANCIA (Fi)	PUNTAJE (Pi)								
		OPCION 1		OPCION 2		OPCION 3		PROYECTO IDEAL		
		P	P X Fi	P	P X Fi	P	P X Fi	P	P X Fi	
1 MATERIALES	3	2	6	3	9	2	6	5	15	
2 FABRICACION	3	4	12	4	12	2	6	5	15	
3 OPERACIÓN	3	2	6	4	12	2	6	5	15	
4 MANTENIMIENTO	2	3	6	3	6	1	2	5	10	
5 MONTAJE	2	3	6	4	8	2	4	5	10	
TOTAL= $\sum(Fi \times Pi)$		-	36	-	47	-	24	-	65	
COEFICIENTE TECNICO=PUNTAJE TOTAL/PUNTAJE IDEAL		-	55%	-	72%	-	37%	-	100%	

Tabla 1.6 Evaluación Técnica

EVALUACION TECNICA										
PUNTO DE EVALUACION	FACTOR DE IMPORTANCIA (Fi)	PUNTAJE (Pi)								
		OPCION 1		OPCION 2		OPCION 3		IDEAL		
		P	P X Fi	P	P X Fi	P	P X Fi	P	P X Fi	
1 SEGURIDAD	3	3	9	4	12	3	9	5	15	
2 RENDIMIENTO	2	2	4	3	6	4	8	5	10	
3 BUEN USO DE LA ENERGIA	2	3	6	2	4	3	6	5	10	
5 FACILIDAD DE FABRICACIÓN	2	2	4	4	8	2	4	5	10	
6 ERGONOMÍA	3	3	9	4	12	3	9	5	15	
7 FACILIDAD DE MANEJO	2	4	8	3	6	2	4	5	10	
8 FACILIDAD DE MONTAJE	2	3	6	4	8	2	4	5	10	
9 COMPLEJIDAD	2	2	4	4	8	2	4	5	10	
10 MANTENIMIENTO	1	2	2	3	3	1	1	5	5	
TOTAL= $\Sigma(Fi \times Pi)$		-	52	-	67	-	49	-	95	
COEFICIENTE TECNICO=PUNTAJE TOTAL/PUNTAJE IDEAL		-	55%	-	71%	-	52%	-	100%	

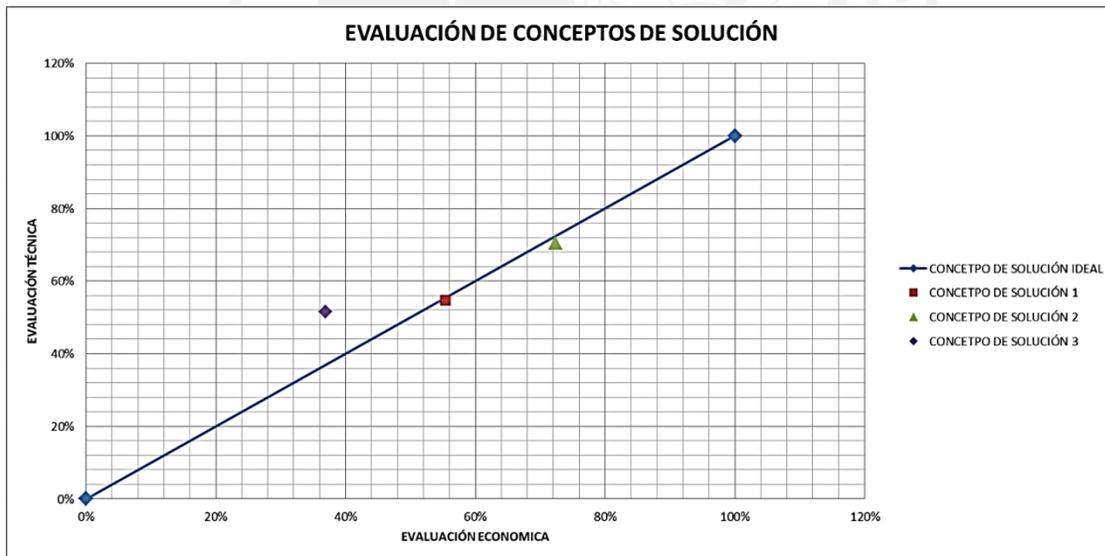
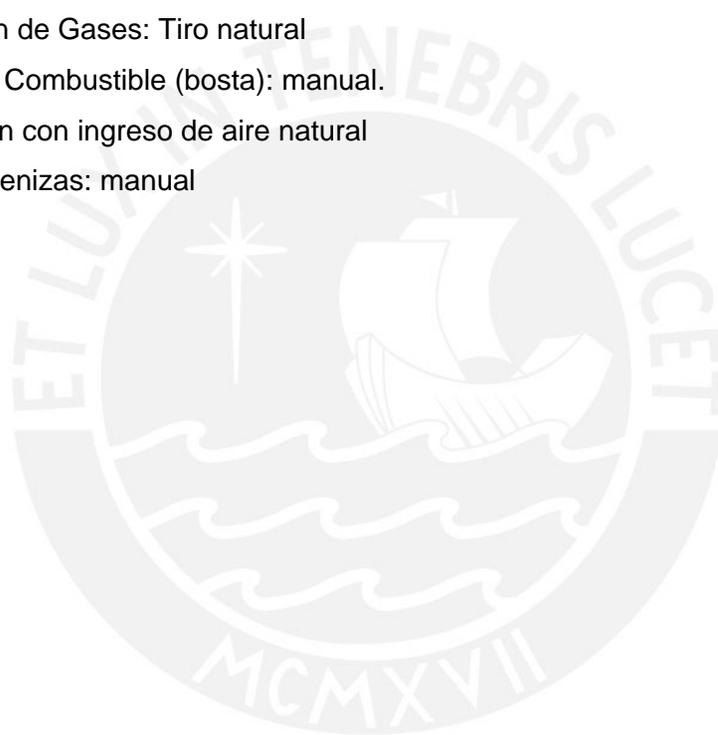


Figura 1.24 Evaluación Técnico – Económica

La selección más adecuada será la Opción que además de tener los coeficientes Técnicos y económicos más altos, mantenga un equilibrio entre estos. Por esto (**Figura 1. 22**) el proyecto indicado a desarrollar será basado en el concepto de solución 2, al albergar los valores técnicos y económicos más altos.

La caldera tendrá como principales características las siguientes:

- Caldera Piro-tubular
- Caldera Vertical
- Caldera de Presión de Baja
- Evacuación de Gases: Tiro natural
- Ingreso de Combustible (bosta): manual.
- Combustión con ingreso de aire natural
- Retiro de cenizas: manual



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Confort térmico en viviendas Alto Andinas, CARE PERU 2010, Pagina 13.
- [2] Confort térmico en viviendas Alto Andinas, CARE PERU 2010, Pagina 10.
- [3] Construcción de una cocina mejorada, Grupo de apoyo al sector Rural, Pontificia universidad Católica del Perú 2009, Pagina 22.
- [4] Manual para construcción de “calefacción ecológica”, Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento 2005, Página 3.
- [5] Confort térmico en viviendas Alto Andinas, CARE PERU 2010, Página 9
- [6] Confort térmico en viviendas Alto Andinas, CARE PERU 2010, Página 8
- [7] J.A. De Andrés, Calefacción y Agua Caliente Sanitaria Página 421
- [8] <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias>, 2012
- [9] http://www.directindustry.es/prod/hurst-boiler/calderas-biomasa-hogares-Volcanes-22135-408404.html#product-item_408403
- [10] <http://www.carbon-vegetal.es/carbon-vegetal.html>
- [11] <http://www.directindustry.es/prod/hurst-boiler/calderas-biomasa-hogares-rejas-cadenas-22135-408402.html>
- [12] <http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm>
- [13] <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/calderas-de-biomasa#ancla>
- [14] <http://communityandecorahorrohogar.blogspot.com/2013/02/ahorra-en-tu-hogar-y-contribuye-con-el.html>
- [15] <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/calderas#ancla>
- [16] <http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/combustibles-fosiles.htm>
- [17] Curso de Generadores de Vapor, Ing. José HuapayaBarrietos, UNI
- [18] J.A. De Andrés, Calefacción y Agua Caliente Sanitaria, Página 423
- [19] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 60
- [20] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 55
- [21] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 56
- [22] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 64
- [23] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 67
- [24] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 68
- [25] Calderas de vapor : manual del foguista, Mesny Marcelo, Página 127

- [26] Calderas de vapor : manual del foguista, Mesny Marcelo, Página 127
- [27] J.A. De Andrés, Calefacción y Agua Caliente Sanitaria Página 423
- [28] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 90
- [29] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 21
- [30] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 22
- [31] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 24
- [32] Anthony L. Kohan, Manual de Calderas Vol. I , Página 26



CAPITULO 2

DISEÑO DE LA CALDERA

El proceso de diseño de la caldera de calefacción consta del diseño Térmico y el diseño mecánico. Antes de realizar los cálculos se presentaran algunas consideraciones previas:

2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

a) Condiciones Climáticas:

La vivienda a calefactar se ubicara geográficamente en el departamento de Puno, esto debido a que este departamento es el más afectado por las bajas temperaturas cada año. Entonces para nuestros cálculos de carga térmica requerida y el diseño de nuestra caldera tendremos las siguientes condiciones:

Altura: 4000 msnm.

Temperaturas en la Noche: 5 °C, Temperaturas pico más bajas de 0°C.

b) Dimensiones de la Vivienda:

Una vivienda típica en zonas alto andinas tiene las siguientes Dimensiones:

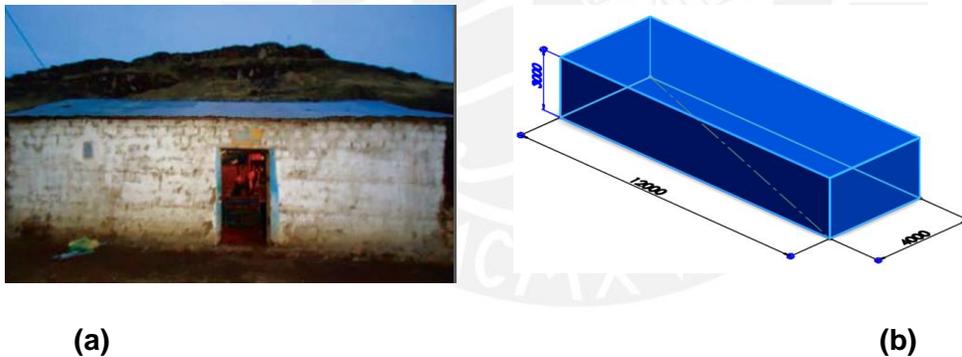


Figura 2.1 (a) Fotografía del exterior de una vivienda típica en zonas alto andinas, (b) Representación de las dimensiones de la vivienda típica [1]

2.2. Requerimiento energético:

El cálculo del requerimiento energético de la vivienda se va a realizar siguiendo la norma DIN EN 12831[2], en la cual se tiene que calcular dos parámetros:

- Pérdidas por diferencia de temperaturas
- Pérdidas por renovaciones de aire

El cálculo de estas pérdidas, según la norma DIN EN 12831, se realiza sumando las pérdidas que se realizan como indica la siguiente relación:

$$\dot{Q}_{total} = \Sigma(\dot{Q}_{temperaturas} \times f_k \times \dot{Q}_{ventilacion}) \quad [2.1]$$

Además:

$$\dot{Q}_{temperaturas} = Area \times K \times (T_{int} - T_{ext}) \times f_k \quad [2.2]$$

$$\dot{Q}_{ventilacion} = 0.34 \times \dot{V}_{min} \times (T_{int} - T_{ext}) \quad [2.3]$$

$$K = \lambda / \text{espesor} \quad [2.4]$$

Para calcular las áreas, se toma como áreas los extremos generados por las líneas que aparecen en la figura 2.1 a

2.2.1 Pérdidas por diferencia de temperaturas :

Para iniciar el cálculo es necesario conocer los materiales que componen cada uno de los elementos que intervienen en la transferencia de calor, por ello se elaboró el siguiente cuadro para conocer elemento por elemento:

Pérdida de calor por cada zona de la casa									
zona	cantidad	fk	area	K (w/m2 °C)	Text	Tint	Q(W)	material	
pared norte	1	1.4	12	0.51	5	18	111.384	adobe	
pared sur	1	1.4	12	0.51	5	18	111.384	adobe	
pared este	1	1.4	36	0.51	5	18	334.152	adobe	
pared oeste	1	1.4	36	0.51	5	18	334.152	adobe	
techo	1	1.26	48	10.3	5	18	8098.272	tejas	
suelo	1	0.42	48	1.11	5	18	290.9088	tierra	
puerta	1	1	2	4	5	18	104	madera	
ventana	2	1	4	6.3	5	18	655.2	vidrio	
TOTAL							10039.5		

Figura 2.2. Pérdida de calor por las zonas de la casa⁴

⁴ Los valores del factor de conducción de transferencia de calor los sacamos del libro de "Transferencia de calor, 2da ED. de B.V. Karlekar y R.M. Desmond.

Los valores f_k han sido obtenidos del siguiente cuadro:

Pérdidas de calor de las paredes	f_k	Comentarios
Directamente al exterior	1.00	Si está aislado
	1.40	Si no está aislado
	1.00	Para ventanas y puertas
En contacto con un ambiente sin calefacción	0.80	Si está aislado
	1.12	Si no está aislado
En contacto con el suelo	0.30	Si está aislado
	0.42	Si no está aislado
En contacto con el techo	0.90	Si está aislado
	1.26	Si no está aislado
Techo intermedio	0.90	Si está aislado
	1.26	Si no está aislado
En contacto con una construcción adyacente	0.50	Si está aislado
	0.70	Si no está aislado

Figura 2.3 Factor de corrección de temperatura, f_k , para el método simplificado [3]

2.2.2 Pérdidas por renovaciones de aire

$$\dot{Q}_{ventilacion} = 0.34 \times \dot{V}_{min} \times (T_{int} - T_{ext}) \quad [2.5]$$

El volumen de la sala a calentar es 144 m³ y si asumimos que durante las 8 horas que trabaja el sistema se realiza tres renovaciones en total de aire por cada hora, entonces se tiene:

$$\dot{V}_{min} = 144 \times 3 = 432 \frac{m^3}{h} \quad [2.6]$$

$$\dot{Q}_{ventilacion} = 0.34 \times 432 \times (18 - 5) = 1909.44 \text{ W} \quad [2.7]$$

El valor 0.34 es función de la densidad del aire, la norma que se viene empleando ha sido desarrollada a nivel del mar, por ello, nosotros debemos de corregir dicho factor ya que el estudio se realiza a 4000 msnm. La presión a nivel del mar es de 10.33 mca y a 4000 msnm es de 6.2 mca.

Entonces:

$$\dot{Q}_{ventilacion} = \frac{6.2}{10.33} \times 0.34 \times 432 \times (18 - 5) = 1146.033 \text{ W} \quad [2.8]$$

Por lo tanto la energía total que se debe suministrar a la casa es:

$$\dot{Q}_{total} = 10039.5 \text{ W} + 1146.033 \text{ W} = 11.2 \text{ kW} \quad [2.9]$$

Entonces según lo calculado anteriormente requerimos de 11.2 kW para suministrar servicios de calefacción en la vivienda, valor el cual utilizaremos como punto base, y de referencia para los cálculos posteriores.

2.3. DISEÑO TÉMICO:

El diseño térmico de la caldera de calefacción tiene por objetivo a partir de los requerimientos de energía que se debe suministrar a la casa, encontrar el área de transferencia, y el consumo de combustible requerido.

Mediante el análisis termodinámico con base en los requerimientos de energía a suministrar, se puede hallar:

- Masa de combustible y masa de aire para una combustión completa.
- La temperatura de llama adiabática la cual se requiere para calcular el área de transferencia de calor, que está en función de la longitud de los tubos y el intercambio de calor desde la masa de los gases salientes hasta la masa de agua dentro de la caldera. Este diseño térmico se resume en la siguiente figura:

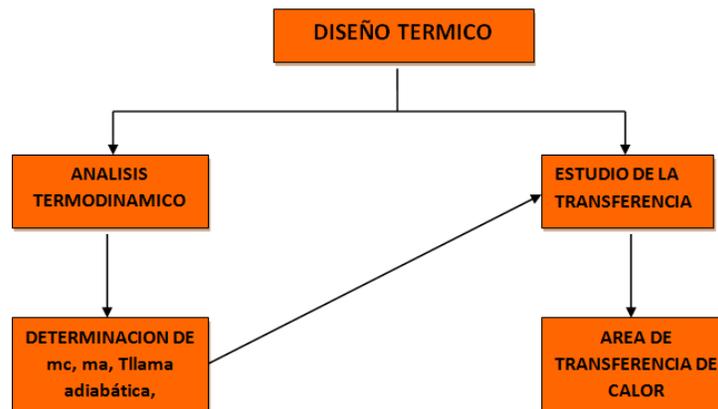


Figura 2.4. Diseño Térmico de la Caldera de Calefacción

2.3.1. Datos de entrada para el diseño térmico:

Los datos de entrada con que se cuenta para el diseño térmico de la caldera son de tres clases diferentes:

- **Operacionales:** Son los valores nominales con los cuales trabajara la caldera, entre los principales tenemos: Presión de trabajo, poder calorífico inferior del combustible.
- **Geométricos:** Es el valor de las dimensiones comerciales de los tubos de humo, que podemos encontrar en el mercado Peruano, y que son de fácil adquisición.

- **Ambientales:** Son las condiciones ambientales de temperatura del agua disponible en la zona, y la presión atmosférica a 4000 msnm.

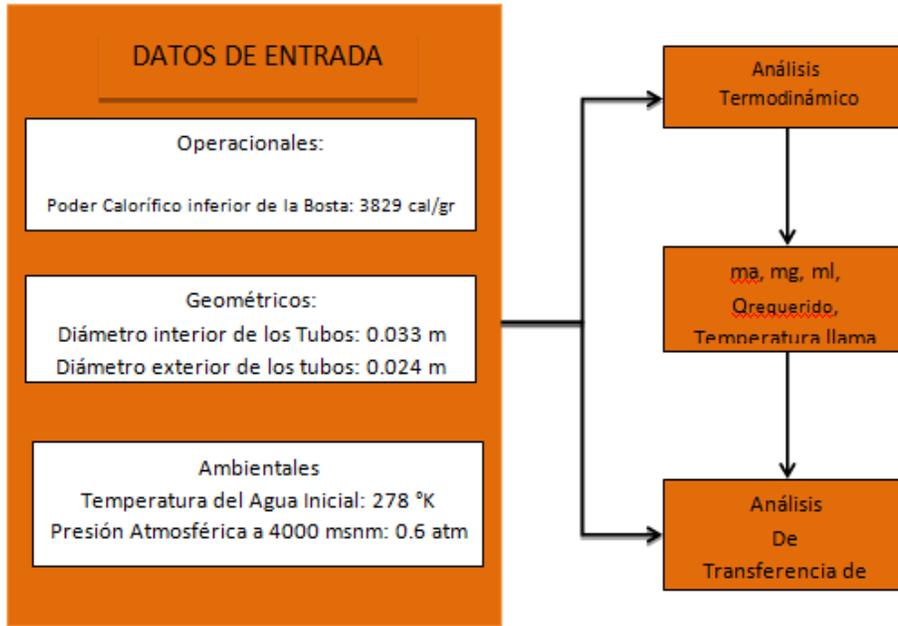


Figura 2.5 Diagrama del Diseño Térmico de la Caldera

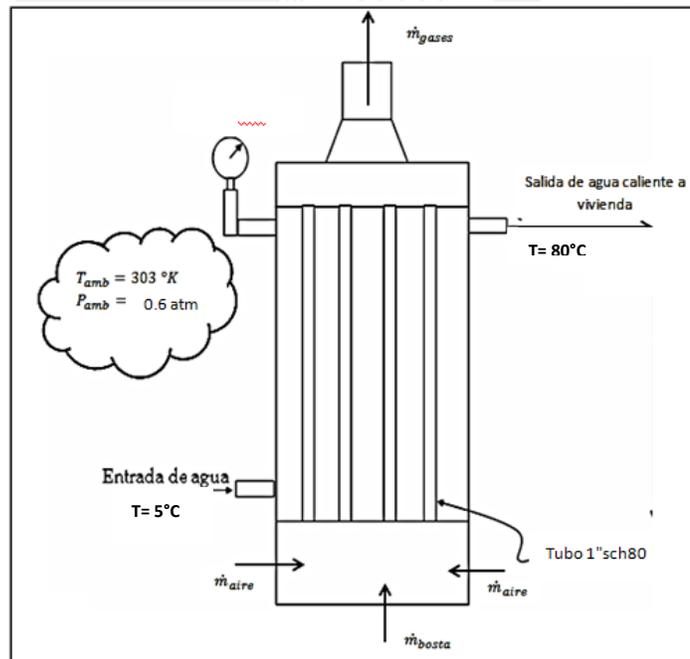


Figura 2.6 Esquema de la caldera de calefacción

2.3.2. Calor total suministrado por la bosta.

El Q_{tot} es el calor total de entrada al proceso y que debe ser suministrado por la combustión de la bosta, en nuestro caso es determinado por los requerimientos energéticos de calefacción en la vivienda Q_{util} más el calor que se pierde por convección natural por las paredes de la cámara de combustión al medio ambiente y el calor que se pierde en los gases de combustión que son expulsados por la chimenea.

$$Q_{tot} = Q_{util} + Q_{perdidas} \quad [2.10]$$

$$Q_{tot} = Q_{util} + Q_{p.paredes} + Q_{p.gas} \quad [2.11]$$

En el diseño de la caldera el calor por perdidas no se conoce previamente, así que para iniciar nuestros cálculos, su valor se estima a partir de los conceptos de eficiencia, asumiendo un valor típico para este tipo de caldera.

$$n = \frac{Q_{util}}{Q_{total}} \quad [2.12]$$

Asumimos eficiencia del 60%[4]

$$0.6 = \frac{11.2 \text{ kW}}{Q_{tot}} \quad [2.13]$$

$$Q_{tot} = 18.7 \text{ KW} = 16058.29 \frac{\text{kCal}}{\text{h}} \quad [2.14]$$

2.3.3. Análisis Termodinámico:

Con el análisis termodinámico se determinara las condiciones de operación de la caldera en cuanto a calor total, flujo de masa de combustible, relación aire – combustible y las temperaturas de entrada y salida tanto de los gases de combustión como del agua de la caldera.

Calor Útil:

$$Q_{util} = Q_{sensible} \quad [2.15]$$

Dónde:

- $Q_{sensible}$: Calor para elevar la temperatura del agua desde temperatura ambiente (5°C) hasta la temperatura de 80 °C [5]cuya presión de saturación será la presión de trabajo (47.39 kPa).

$$Q_{sensible} = \dot{m}_{H_2O} x (h_{f_{80^\circ C}} - h_{f_{5^\circ C}}) = \dot{m}_{H_2O} x (334.91 - 20.98) kJ/kg \quad [2.16]$$

$$Q_{sensible} = 313.93 x \dot{m}_{H_2O} \quad [2.17]$$

Reemplazando [2.9] en [2.7] tenemos:

$$Q_{util} = 313.93 \dot{m}_{H_2O} \quad [2.18]$$

$$11.2 \text{ kW} = 313.9 x \dot{m}_{H_2O} \quad [2.19]$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 0.0356 \text{ kg/s} = 128.45 \text{ kg/h} \quad [2.20]$$

2.3.4. Aire y Combustible requerido por la caldera:

El combustible utilizado para la combustión de la caldera es bosta. Este combustible tiene un poder calorífico hallado experimentalmente en el laboratorio de energía. Conociendo el poder calorífico del combustible y el calor total que requiere la caldera se puede encontrar la masa de combustible de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{Q_{tot}}{LHV} \quad [2.21]$$

LHV de la bosta, es 3829 Cal/g. (Anexo 1)

$$\dot{m}_{comb} = \frac{16058.29}{3.829} \quad [2.22]$$

$$\dot{m}_{comb} = 4.19 \text{ kg/h} \quad [2.23]$$

2.3.5. Estequiometría de la Combustión:

La caldera se diseñará para trabajar con bosta cuya composición se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Composición de la bosta.[6]

C	Carbono	42.7%
H_2	Hidrogeno	5.5%
N_2	Nitrógeno	2.4%
S	Azufre	0.3%
O_2	Oxígeno	31.3%
	Ceniza	17.8%

En 100 Kg de combustible tenemos 42.7 kg de C, 5.5 kg de H_2 , 2.4 kg de N_2 , 0.3 kg de S, y 33.3 kg de O_2

El número de moles de cada uno será:

$$C = \frac{42.7}{12} = 3.558 \text{ kmol} \quad [2.24]$$

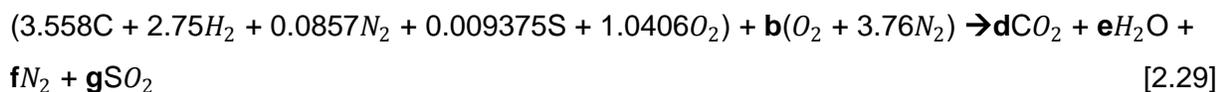
$$H_2 = \frac{5.5}{2} = 2.75 \text{ kmol} \quad [2.25]$$

$$N_2 = \frac{2.4}{28} = 0.0857 \text{ kmol} \quad [2.26]$$

$$S = \frac{0.3}{32} = 0.009375 \text{ kmol} \quad [2.27]$$

$$O_2 = \frac{33.3}{32} = 1.0406 \text{ kmol} \quad [2.28]$$

La ecuación para de la combustión estequiometrica será:



Realizando el balance de la ecuación de combustión tenemos:

$$C: d = 3.558 \quad [2.30a]$$

$$H: 2 \times 2.75 = 2e \Rightarrow e = 2.75 \quad [2.30b]$$

$$N: 2 \times 0.0857 + 3.76 \times 2 \times b = 2f \quad [2.30c]$$

$$O: 2 \times 1.04060 + 2b = 2d + e + 2g \quad [2.30d]$$

$$S: 0.009375 = g \quad [2.30e]$$

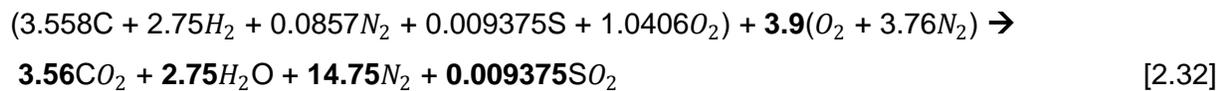
Reemplazando [2.30a], [2.30b], [2.30e], en [2.30d]:

$$2x1.04060 + 2b = 2x3.558 + 2.75 + 2x0.009375 \quad [2.31]$$

$$b=3.9$$

$$f=14.75$$

Entonces reemplazando los valores, tendremos la ecuación estequiometrica de la siguiente forma:



Fracciones molares:

$$X = \frac{n_i}{n_t} \quad [2.33]$$

$$n_t = 3.56 + 2.75 + 14.75 + 0.009375 = 21.069 \text{ kmol} \quad [2.34]$$

$$X_{CO_2} = \frac{3.56}{21.069} = 0.1689 \quad [2.35]$$

$$X_{H_2O} = \frac{2.75}{21.069} = 0.1305 \quad [2.36]$$

$$X_{N_2} = \frac{14.75}{21.069} = 0.7 \quad [2.37]$$

$$X_{SO_2} = \frac{0.009375}{21.069} = 0.004496 \quad [2.38]$$

Dónde:

- ✓ n_i : Número de moles de cada producto.
- ✓ n_t : Número total de moles de los productos.
- ✓ X_{CO_2} : Fracción molar del CO_2
- ✓ X_{H_2O} : Fracción molar del H_2O
- ✓ X_{N_2} : Fracción molar del N_2
- ✓ X_{SO_2} : Fracción molar del SO_2

Relación Aire – Combustible Estequiométrica:

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} = \frac{3.9x(32+3.76x28)}{3.58x12+2.75x2+0.0857x28+0.009375x32+1.0406x32} \quad [2.39]$$

$$AC = \frac{535.392}{84.19} = 6.359 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combustible}} \quad [2.40]$$

Masa de aire:

$$\dot{m}_{aire} = AC \times \dot{m}_{combustible} = 6.359 \frac{kg_{aire}}{kg_{combustible}} \times 4.19 \frac{kg_{combustible}}{h} \quad [2.41]$$

$$\dot{m}_{aire} = 26.64 \frac{kg_{aire}}{h} \quad [2.42]$$

Tomamos un exceso de aire del 100% recomendado para calderas de combustible sólido de carga manual.[7]

Flujo de masa de los gases:

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{aire} + \dot{m}_{combustible} = 2 \times 26.64 + 4.19 = 57.47 \text{ kg/h} \quad [2.43]$$

2.3.6 Temperatura de los a la entrada del intercambiador:

Para la temperatura de entrada de los gases de combustión al haz tubular de la caldera (intercambiador de calor) nos apoyaremos en estudios que se han realizado a la bosta en diferentes proyectos del sector rural el cuales nos da como un valor promedio de temperatura de los gases de combustión de 800°C.[8]

$$T_{entrada \text{ gases}} \approx 800 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.3.7 Temperatura de los Gases a la salida del intercambiador:

La temperatura a la cual deben salir los gases de combustión debe ser la mínima necesaria para que no lleguen a condensarse (Temperatura de condensación del SO₂ 130°C - 160°C), como regla practica pondremos como requerimiento de nuestro caldera que los gases de combustión salgan de la chimenea a 200 °C .[9]

$$T_{salida \text{ gases}} \approx 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La energía que transfieren los gases de combustión será igual a la energía que transfieren al agua para elevarla a la temperatura de 80°C, agua caliente que transfiere su energía a la vivienda para el proceso de calefacción.

$$Q_{gas} = Q_{agua} = Q_{util} = 11.2 \text{ kW} \quad [2.43a]$$

Esta energía es transferida por los gases productos de la combustión, enfriándose estos desde $T_{g1}=T_{entrada .gases}$ hasta $T_{g2} = T_{salida .gases}$, entonces la energía transferida por los gases se podría representar en el siguiente esquema:

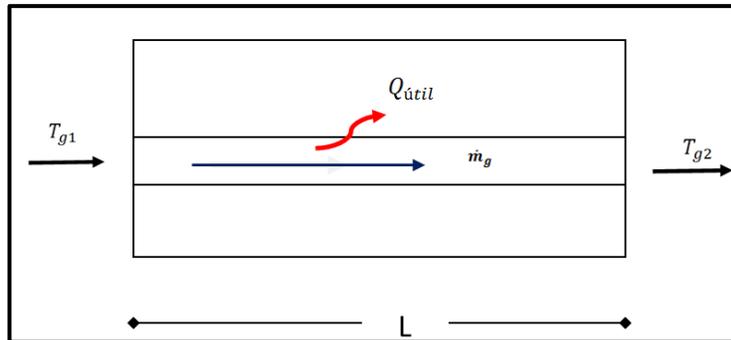


Figura 2.7 Diagrama de transferencia de calor a lo largo de un tubo de la caldera

$$Q_{gas} = Q_{util} = \dot{m}_g \times C_{p.gas} \times (T_{g1} - T_{g2}) \quad [2.44]$$

Despejando T_{g2} obtenemos la siguiente relación:

$$T_{g2} = T_{g1} - \frac{Q_{gas}}{\dot{m}_g \times C_{p.gas}} \quad [2.45]$$

Dónde:

- T_{g2} : Temperatura de Salida de los Gases
- T_{g1} : Temperatura de Entrada de los Gases
- Q_{gas} : Energía transferida por los gases
- \dot{m}_g : Flujo de masa de los gases
- $C_{p.gas}$: Calor específico de los gases

Reemplazando:

$$T_{g2} = 1073 \text{ K} - \frac{11.2 \text{ kW}}{57.47 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1.136 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}} = 455.4 \text{ K} \quad [2.46]$$

Entonces la temperatura de los gases a la salida de los tubos será $T_{g2} = 455.4 \text{ K}$.

2.4. Cálculo del número y longitud de tubos de humo del haz tubular de la caldera:

La transferencia de calor en la caldera se produce por el paso de los gases producto de la combustión de la bosta a través de los tubos de humo del haz tubular. De esta manera entonces podemos considerar al haz tubular de la caldera como un intercambiador de calor.

Para el diseño Térmico de la caldera, analizaremos el intercambiador de calor de esta. La caldera a diseñar es de tubos de humo, lo que quiere decir que por los tubos del haz tubular de la caldera pasaran los gases de combustión y exterior a ellos se encontrara el agua de la caldera, con lo que el flujo de calor pasará de los gases de combustión a el agua. [10]

Análisis del Intercambiador de Calor:

Tenemos la siguiente relación para el cálculo del flujo de transferencia de calor en intercambiadores de calor:

$$Q = A_o \times U_o \times DTML \quad [2.47]$$

Donde:

A_o : Área de transferencia de calor.

U_o : Coeficiente global de transferencia de calor

$DTML$: Diferencia de Temperaturas Media Logarítmica

2.4.1. Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de calor:

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se puede calcular con la siguiente relación:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{e}{k} \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right) + \left(\frac{r_o}{r_i} \right) \times \frac{1}{h_i} \quad [2.49]$$

Donde:

U_o : Coeficiente global de transferencia de calor

h_o : Coeficiente convectivo del flujo externo de la tubería

h_i : Coeficiente convectivo del flujo interno de la tubería

e : espesor de pared de los tubos de humo

r_o : radio externo de los tubos de humo

r_i : radio interno de los tubos de humo

Coefficiente Convectivo:

Para el cálculo del coeficiente convectivo tanto exterior como interior, utilizaremos las correlaciones de transferencia de calor.

Donde tenemos:

$$N_u = \frac{h.L}{k} \quad [2.50]$$

donde:

N_u : Número de Nusselt

h: Coeficiente convectivo

L: Longitud característica (m)

K: conductividad térmica, W/m-K

2.4.1.1 coeficiente convectivo interior

Para el cálculo del coeficiente convectivo interior utilizaremos las correlaciones para tubos cortos:

$$N_u = 0.032x\left(\frac{D}{L}\right)^{0.054} xRe^{4/5} xPr^n \quad [2.51]$$

con: $n= 0.4$; $T_s > T_b$

$n=0.3$; $T_s < T_b$

Donde se deben cumplir las siguientes condiciones:

$Re \leq 10^5$

Para Determinar si el flujo es laminar o turbulento calcularemos el numero de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho x V x L}{\mu} \quad [2.52]$$

Donde:

Re: Reynolds

ρ : densidad de los gases de combustión

V: velocidad de los gases de combustión a través de los tubos de humo

L: Longitud característica

μ : viscosidad (kg/ m-s)

Tabla 2.2 Propiedades de los fluidos en el intercambiador de calor[11]

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS			
PROPIEDAD	AIRE	AGUA	UNIDAD
Temperatura	500	80	°C
densidad	0.7048	974.08	kg/m ³
Cp	1029.5	4196.4	J/kg.°K
u	0.00002671	0.000355	Kg/m-s
K	0.04038	0.668	W/m.°K
Pr	0.68	2.22	

Para el cálculo de la velocidad de los gases de combustión, utilizamos la relación del caudal:

$$Q_{g.t} = V_g \times A_{tub} \tag{2.53}$$

donde

Qg.t: flujo de gases que pasa por una de las tuberías (m³/s)

A_{tub} : Área interna de los tubos de humo.

Según lo calculado anteriormente tenemos que el flujo másico producto de la combustión es:

$$\dot{m}_g = 57.47 \text{ kg/h}$$

Como se colocaran 25 tubos en el haz tubular, asumiremos que los gases productos de la combustión se distribuyen de manera equitativa por los 25 tubos con lo cual tendremos que el flujo másico por cada tubo será:

$$\dot{m}_{g,t} = \frac{\dot{m}_g}{25} = \frac{57.47 \text{ kg/h}}{25} = 2.3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0.0006389 \text{ kg/s} \quad [2.54]$$

Para calcular el flujo volumétrico a través de los tubos de humo, dividimos el flujo másico entre la densidad del aire.

$$Q_{g,t} = \frac{\dot{m}_{g,t}}{\rho} = \frac{0.0006389 \text{ Kg/seg}}{0.7048 \text{ Kg/m}^3} = 0.000906 \text{ m}^3/\text{s} \quad [2.55]$$

El Área interior de la tubería será:

$$A_{tub} = \frac{\pi x D_i^2}{4} = \frac{\pi x 0.024^2}{4} = 0.000452389 \text{ m}^2 \quad [2.56]$$

Entonces de la relación anterior:

$$V_{g,t} = \frac{Q_{g,t}}{A_t} = \frac{0.000906 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000452389 \text{ m}^2} = 0.00047098 \text{ m/s} \quad [2.57]$$

Según lo calculado anteriormente el número de Reynolds será:

Reemplazando en [2.52] :

$$Re = \frac{0.7048 x 0.00047098 x 0.024}{0.00002671} = 1268.3 \quad [2.58]$$

Con el Reynolds de 1268.3 se cumple la condición requerida de $Re \leq 10^5$, entonces reemplazando en la correlación para el cálculo de Nusselt tenemos:

Ahora reemplazando en la correlación [2.51] :

$$N_u = 0.032x\left(\frac{D}{L}\right)^{0.054} x Re^{4/5} x Pr^n$$

Tenemos:

$$N_u = 0.032x\left(\frac{D}{L}\right)^{0.054} x Re^{4/5} x Pr^n = 0.032x\left(\frac{0.024}{0.8}\right)^{0.054} x 1268.3^{4/5} x 0.68^{0.3} = 7.16$$

Ahora reemplazando en la correlación para el cálculo de Nusselt tenemos:

$$N_u = \frac{h_i \cdot L}{k} \quad [2.59]$$

$$7.16 = \frac{h_i \cdot 0.024}{0.04038} \quad [2.60]$$

Despejando h tenemos:

$$h_i = 12.04w/m^2-K$$

2.4.1.2 Coeficiente Convectivo Exterior:

El flujo exterior a los tubos del intercambiador de calor es el agua de caldera. Para el cálculo del coeficiente convectivo exterior utilizaremos las correlaciones para paredes planas. En este caso se utilizara la siguiente:

$$N_u = 0.664xRe^{1/2}xPr^{1/3} \quad [2.61]$$

Donde se deben cumplir las siguientes condiciones:

Flujo Laminar

$$Pr > 0.6$$

Para Determinar si el flujo es laminar o turbulento calcularemos el número de Reynoldssegún la correlación [2.52]:

$$Re = \frac{\rho x V x L}{\mu}$$

Donde:

Re: Reynolds

ρ : densidad del agua

V: velocidad del agua a través de la caldera

L: Longitud característica (diámetro exterior de los tubos de humo)

μ : viscosidad del agua (kg/ m-s)

Para el cálculo de la velocidad del agua de caldera, utilizamos la relación del caudal:

$$Q_{agua} = V_{agua} x A_{flujo} \quad [2.62]$$

donde

Q_{agua} : flujo volumétrico de agua que pasa exterior a los tubos de humo e interior a la caldera (m^3/seg)

A_{flujo} : Área por la cual pasa el flujo de agua, que es la diferencia entre el área de la coraza menos el área que ocupan los tubos de humo.

Según lo calculado anteriormente tenemos que el flujo másico de agua que requiere el sistema es:

$$\dot{m}_{agua} = 0.0356 \text{ kg/s}$$

Para calcular el flujo volumétrico, tenemos la siguiente relación:

$$Q_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}}{\rho} = \frac{0.0356 \text{ kg/s}}{974.08 \text{ kg/m}^3} = 0.00003654 \text{ m}^3/\text{s} \quad [2.63]$$

Para calcular el área de flujo utilizaremos la siguiente relación:

$$A_{flujo} = \frac{\pi \times D_{coraza}^2}{4} - \frac{\pi \times D_{ext.tub}^2}{4} \times n \quad [2.64]$$

Donde:

D_{coraza} : Diámetro de la coraza de la caldera

$D_{ext.tub}$: Diámetro externo del tubo

n : numero de tubos de hum de la caldera

Reemplazando en [2.64] tenemos:

$$A_{flujo} = \frac{\pi \times 0.355^2}{4} - \frac{\pi \times 0.033^2}{4} \times 25 = 0.07759 \text{ m}^2$$

Ahora reemplazando en la relación [2.62] del caudal volumétrico:

$$V_{agua} = \frac{Q_{agua}}{A_{flujo}} = \frac{0.00003654 \text{ m}^3/\text{s}}{0.07759 \text{ m}^2} = 0.000470987 \text{ m/s}$$

Reemplazando en la correlación [2.52]:

$$Re = \frac{974.08 \times 0.000470987 \times 0.033}{0.000355} = 42.64$$

Con un Reynolds de 42.64, tenemos un flujo de agua laminar. Viendo las propiedades del agua según la tabla vemos un número Pr= 2.22, con lo cual se cumplen las condiciones para poder utilizar la correlación dada.

Ahora reemplazando en la correlación [2.61] :

$$N_u = 0.664 \times Re^{1/2} \times Pr^{1/3}$$

Tenemos:

$$N_u = 0.664 \times Re^{1/2} \times Pr^{1/3} = 0.664 \times (42.64)^{1/2} \times (2.22)^{1/3} = 5.65$$

Ahora reemplazando en la correlación para el cálculo de Nusselt [2.53] tenemos:

$$N_u = \frac{h_e \cdot L}{k}$$

$$5.65 = \frac{h_e \cdot 0.033}{0.668} \tag{2.62}$$

Despejando h tenemos:

$$h_e = 114.5 \text{ w/m}^2\text{-K}$$

Una vez ya calculados el valor de los coeficientes convectivo interior y exterior, calculamos el coeficiente global de transferencia de calor.

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{e}{k} \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right) + \left(\frac{r_o}{r_i} \right) \times \frac{1}{h_i} \tag{2.63}$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{114.5} + \frac{0.0045}{48} \ln\left(\frac{0.0165}{0.012}\right) + \left(\frac{0.0165}{0.012}\right) \times \frac{1}{12.05}$$

Entonces:

$$U_o = 8.14 \frac{w}{m^2 - k}$$

2.4.2. Calculo del Área de Transferencia de calor:

Ahora según la correlación calculamos el área de transferencia de calor:

$$A_o = \pi x D_o x L x n$$

[2.64]

Donde:

A_o : Área total de intercambio de calor.

D_o : Diámetro exterior de los tubos de humo.

L : Longitud efectiva de los tubos de humo.

n : numero de tubos de humo.

Reemplazando:

$$A_o = \pi x 0.033 x L x 25 = 2.6L$$

Dejamos el área de transferencia de calor en función de la longitud de los tubos de humo "L", área la cual reemplazaremos en la fórmula general, con lo cual obtendremos la longitud de los tubos de humo requeridos.

2.4.3. Calculo de la Diferencia de temperatura media logarítmica:

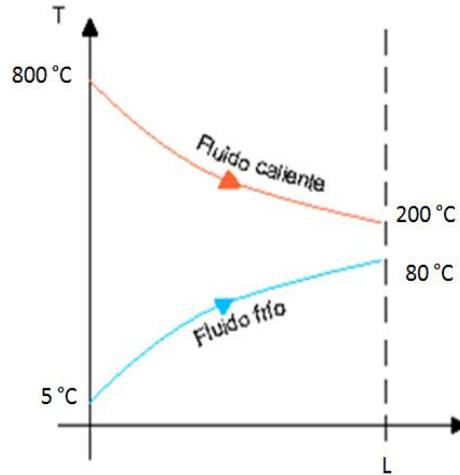


Figura 2.8 Diagrama T vs L tubos de humo en flujo paralelo

Diferencia de temperatura media logarítmica:

$$DTML = \frac{(T_{h,i} - T_{c,i}) - (T_{h,o} - T_{c,o})}{\ln\left(\frac{T_{h,i} - T_{c,i}}{T_{h,o} - T_{c,o}}\right)} \quad [2.65]$$

Donde:

$T_{h,i}$: Temperatura de flujo caliente que entra al intercambiador

$T_{c,i}$: Temperatura de flujo frío que entra al intercambiador

$T_{h,o}$: Temperatura de flujo caliente que sale del intercambiador

$T_{c,o}$: Temperatura de flujo frío que sale del intercambiador

Reemplazando:

$$DTML = \frac{(800 - 5) - (200 - 80)}{\ln\left(\frac{800 - 5}{200 - 80}\right)} = 356.98 \text{ °C (629.98 K)} \quad [2.66]$$

Reemplazando entonces en la siguiente ecuación tenemos:

$$Q = A_o \times U_o \times DTML \quad [2.67]$$

$$11.2 \text{ Kw} = (2.6L \cdot m^2) \times (8.14 \frac{w}{m^2 \cdot K}) \times (629.98K) \quad [2.68]$$

Entonces despejando la longitud de los tubos de humo "L" tendríamos:

$L = 0.84 \approx 0.8 \text{ m}$ lo cual concuerda con la suposición hecha en un inicio.

La caldera es de tubos verticales y debe mantenerse con un nivel mínimo de agua de $2/3$ de la longitud, que es la longitud efectiva como se muestra en la siguiente figura:

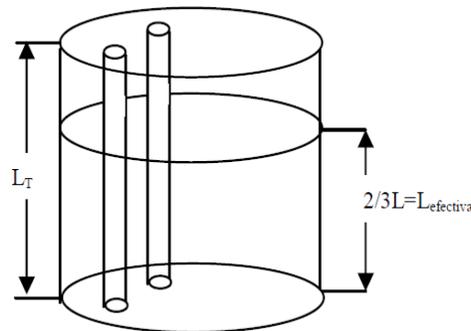


Figura 2.9 Esquema de la longitud efectiva de tubos de humo.

Se procede entonces a calcular la longitud total que tendrán los tubos que conforman el haz de tubos de la caldera de calefacción de la siguiente forma:

$$L_T = \frac{L_{efectiva}}{2/3} = \frac{0.8}{2/3} = 1.2 \text{ m} \quad [2.69]$$

2.5. Cálculo de la chimenea

El diseño de la chimenea de una instalación de calefacción, obliga a la determinación tanto de la sección como de la altura de la misma. La sección de la chimenea viene determinada por la velocidad de circulación de los humos, así como por el caudal de estos que se maneje.

La temperatura media de los humos en la chimenea oscila alrededor de los 200°C que es la temperatura promedio de salida de los gases de combustión, por lo tanto se ha de diseñar un ducto por el cual puedan salir con facilidad los gases que circulan por el interior del caldero y a su vez produzca un efecto de succión para los mismos. [12]

2.5.1. cálculo del diámetro de la chimenea

Para el cálculo estimado del diámetro de la chimenea se utilizara el artículo publicado en la página web <http://www.areadecalculo.com>⁵, donde nos indican como regla sencilla que la velocidad de los gases a la salida de la chimenea debe ser 1.5 veces la velocidad del viento.[13]

$$V_g = 1.5xV_{viento} \quad [2.70]$$

Dónde:

V_g : Velocidad de los gases de combustión. (m/s)

V_{viento} : Velocidad del viento (m/s)

La Velocidad del viento la podemos hallar en el Anexo 2 donde para Puno en la época de invierno tenemos una velocidad de viento promedio de:

$$V_{viento} = 4m/s \quad [2.71a]$$

Reemplazando tenemos:

$$V_g = 1.5x4 = 6m/s \quad [2.71b]$$

Para calcular el área del ducto que utilizaremos como chimenea, utilizaremos la siguiente relación:

$$Q_g = V_g x A_g \quad [2.71c]$$

Donde:

Q_g : Flujo volumétrico de los gases a la entrada de la chimenea. (m^3/s)

V_g : Velocidad promedio de los gases por el ducto de la chimenea. (m/s)

A_g : Área transversal de la chimenea.

⁵ Para mayor información revisar el anexo 3

El flujo volumétrico lo se calculará con la siguiente relación:

$$Q_g = \frac{\dot{m}_g}{\rho} = \frac{0.0159638 \text{ kg/s}}{0.7048 \text{ kg/m}^3} = 0.0112513 \text{ m}^3/\text{s} \quad [2.71d]$$

Entonces reemplazando en la relación anterior tenemos:

$$0.0112513 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times A_g \quad [2.71e]$$

Entonces:

$$A_g = 0.001875 \text{ m}^2$$

El ducto de nuestra chimenea estará hecho de una tubería circular con lo que tenemos:

$$A_g = \frac{\pi \times D^2}{4} = 0.00125 \text{ m}^2 \quad [2.71f]$$

Despejando el diámetro:

$$D = 0.0488 \text{ m} = 48.8 \text{ mm}$$

Entonces requerimos de un diámetro de chimenea de 48.8 mm para que los gases de combustión puedan salir a una velocidad de 6 m/s.

La tubería comercial que más se acerca a al diámetro requerido es una tubería de 2" Sch80 la cual tiene un diámetro interno de 49mm.

Comprobación del diámetro de chimenea:

Para comprobar este valor debemos establecer la diferencia de presiones que sufren los gases en la chimenea, para aquello es necesario calcular las pérdidas del tramo con la ecuación

$$h_f = \frac{f \times V^2}{2g} \times \frac{\sum L \Delta f + L}{D} \quad [2.71g]$$

Calculo del factor de fricción (f)

Está en función del número de Reynolds y el factor de Rugosidad (e /D) siendo para el acero comercial 0.06 mm, se tiene:

$$\frac{e}{D} = \frac{0,00006}{0,049} = 0,001224 \quad [2.71h]$$

El número de Reynolds se lo encuentra utilizando las propiedades de los gases y el uso de la relación 2.71i

$$Re = \frac{\bar{v}D\rho_g}{\mu_g} \quad [2.71i]$$

Reemplazando tenemos:

$$Re = \frac{6 \frac{m}{s} \times 0.049 m \times 0.7048 \frac{kg}{m^3}}{0.00002671 \frac{kg}{m-s}} = 6301.24$$

Utilizando el diagrama de Moody para encontrar el factor de fricción tenemos:

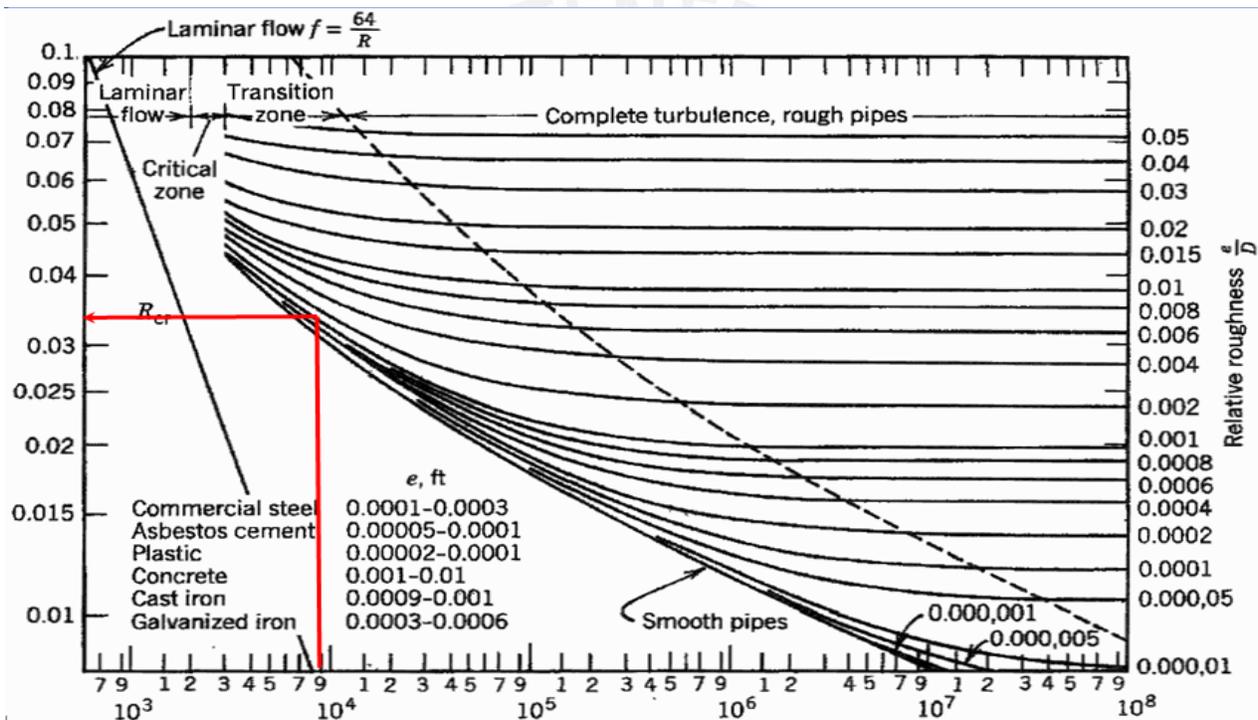


Figura 2.10 Diagrama de Mooy para el cálculo del factor de fricción en tuberías[14]

Con lo cual según el diagrama de Moody tenemos un factor de fricción de:

$$f = 0,037 \quad [2.71j]$$

Reemplazando ahora en 2.71g tenemos:

Se suma las pérdidas que se producen por cambio de dirección en el tubo.

Como no hay cambio de dirección $\sum L\Delta f = 0$

$$h_f = f \frac{V^2}{2g} \times \frac{L}{D} = 0,037 \times \frac{6^2}{2 \times 9.81} \times \frac{2}{0,049} = 2.77 \text{ mmca}$$

$$h_f = 2.77 \text{ mmca}$$

A continuación se ha de calcular la variación de presiones en la chimenea con el uso del principio de Pascal:

$$P = \rho \times g \times h \quad [2.71k]$$

Aplicando las propiedades de los gases y sumando la presión atmosférica se tiene:

$$P_{aire} = \rho_{aire} \times g \times h_{aire} + \rho_{atm} \quad [2.71m]$$

$$P_{humo} = \rho_{humo} \times g \times h_{aire} + \rho_{atm} \quad [2.71n]$$

Igualado las presiones atmosféricas; tenemos una ecuación

$$P_{aire} - P_{humo} = h_{chime} \times (\rho_{aire} - \rho_{humo}) \quad [2.71p]$$

Entonces la altura del aire y la altura de los humerales son la misma altura de la chimenea.

$$P_{aire} - P_{humo} = 2 \times (3.6 - 0,7833)$$

$$P_{aire} - P_{humo} = 5.63$$

Puesto que la diferencia de presiones es mucho mayor, entonces nos produce un tiro efectivo de:

$$Tiro = P_{aire} - P_{humo} - h_f \quad [2.71q]$$

$$Tiro = 5.63 - 2.77 = 2.86$$

Con lo cual comprobamos que la chimenea tiene el tiro suficiente para poder evacuar los gases productos de la combustión.

2.6. DISEÑO MECANICO:

En el Diseño de la caldera de Calefacción el dimensionamiento de las partes mecánicas que intervienen en el funcionamiento tiene un papel sumamente importante, ya que se deben asegurar las condiciones del diseño térmico y al mismo tiempo se deben considerar los parámetros de operación requeridos.

Para el diseño mecánico, se realizan los cálculos basándonos en la sección IV y VIII del código ASME. La primera hace referencia a calderas para caleras de calefacción y la segunda hace referencia a los recipientes a presión, a la par también lo complementaremos utilizando los conocimientos adquiridos en los cursos de Resistencia de Materiales.

Los elementos mecánicos parte de la caldera que diseñaremos y verificaremos si falla sometidos a la presión de diseño se mencionan a continuación:

- Casco
- Tubos de humo
- Placa porta tubos
- Bridas
- Soporte de la caldera
- Anillo de retención de la caldera

2.6.1. Parámetros de Operación:

- **Temperatura:** La temperatura de líquido saturado según la presión de trabajo es 80 °C y según la presión de diseño es de 90°C.

2.6.2. Espesor del casco de la caldera:

El Principal problema que presentara la caldera es por corrosión de su casco a causa del agua, según recomendaciones dadas para calderas tenemos que:

Por corrosión se le debe agregar $t_{corrosion} = 1/8''$ (3.175 mm) [2.74]

Entonces tendremos un espesor total mínimo de

$$t_{min} = 3.175 \text{ mm} \quad [2.75]$$

Entonces para la carcasa de la caldera utilizaremos una plancha de acero al carbono ASTM A-36 de espesor 3/16" con lo cual se cumple el requerimiento

2.6.3. Verificación de los Tubos de Humo:

Los Tubos de humo son de 1 SCH 80, y están sometidos a una presión externa de diseño de 30 PSI, debemos verificar que no fallen debido a la presión externa a la cual está siendo sometida.

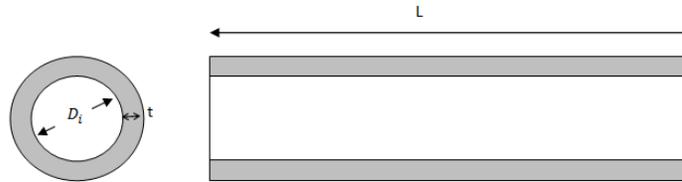


Figura 2.12 Esquema un tubo de Humos de 1" SCH 80

Para tuberías sometidas a presión externa Según el código ASME sección IV parte HG-312.3 nos presenta el siguiente procedimiento:

- Se determina la relación L/D_o y D_o/t

Dónde:

L : longitud del tubo de humo.

D_o : Diámetro exterior de la tubería

$$\frac{L}{D_o} = \frac{1.2}{0.033} = 36.36 \quad [2.76]$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{0.033}{0.0045} = 7.33 \quad [2.77]$$

- En el código ASME, Sección II, sub parte 3, Figura G (Figura 2.13).entramos con L/D_o siguiendo la horizontal hasta interceptarlo con D_o/t y bajamos verticalmente lo cual nos dará un valor $A= 0.025$ [16]
- En la Figura CS-2 de la sub parte 3, de la sección II, Parte D del código ASME, Entramos con el valor A y lo interceptamos con el material y temperatura dándonos un factor $B=17900$ (Figura 2.14)

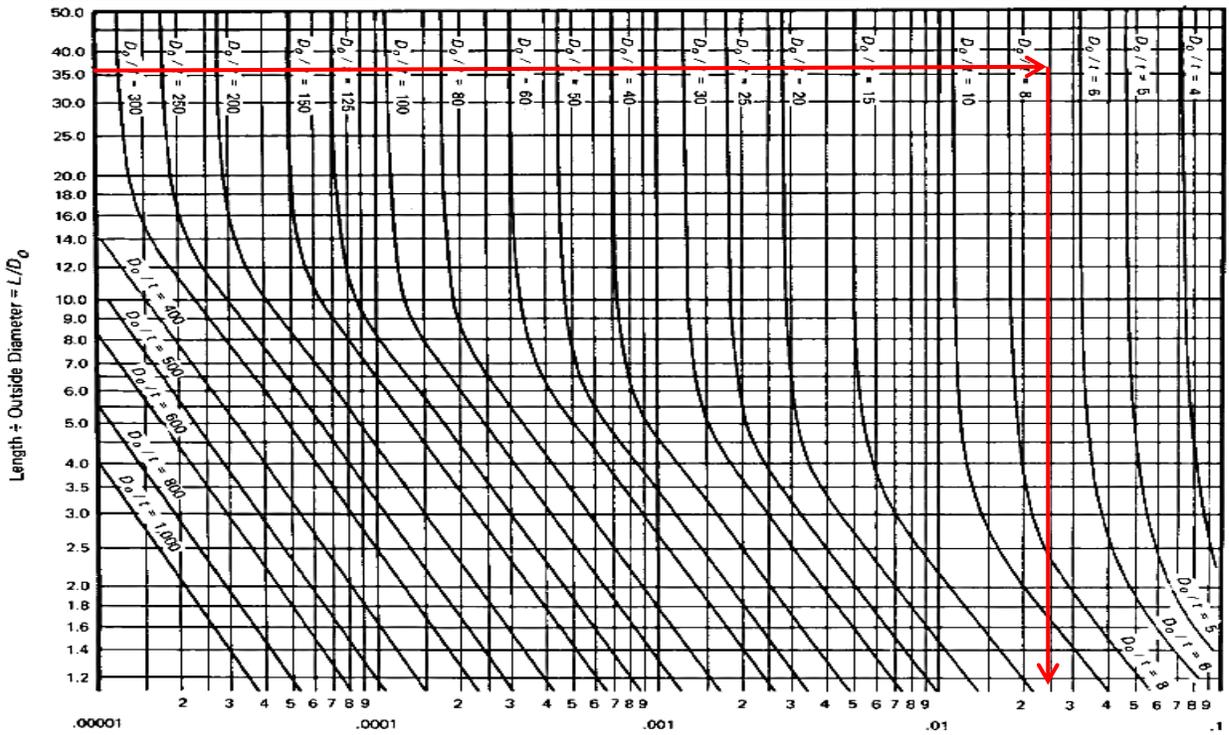


Figura2.13Calculo del Factor A[17]

FIG. CS-2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE DEVELOPED FOR CARBON OR LOW ALLOY STEELS WITH SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH 30,000 psi AND HIGHER

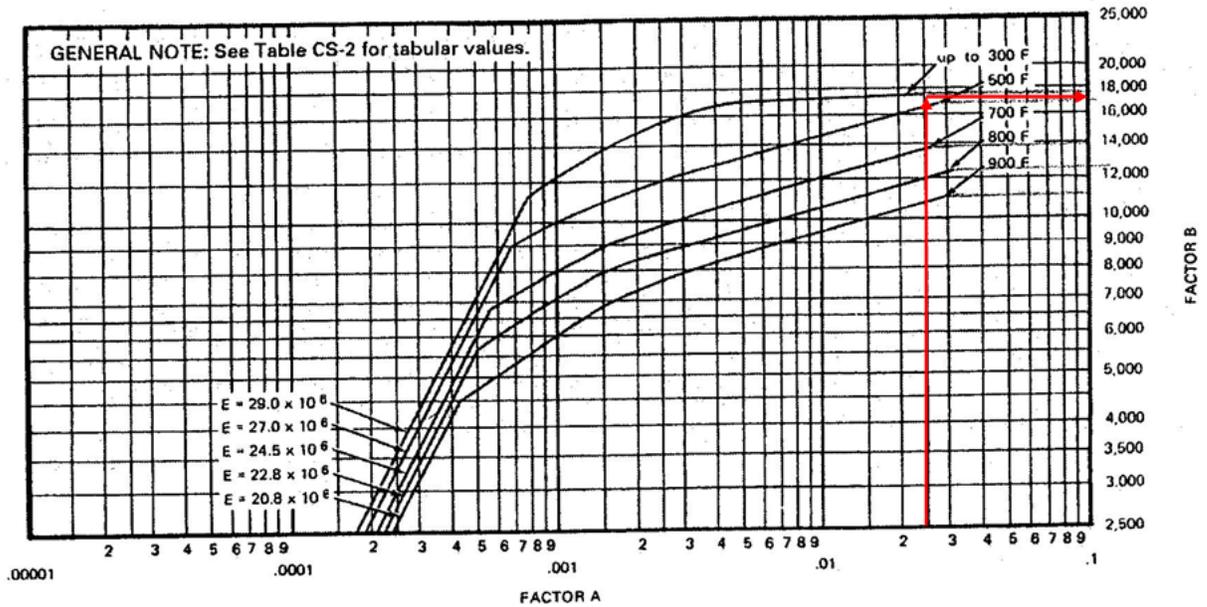


Figura2.14 Calculo del Factor A [18]

- Ahora con el factor B usamos la siguiente ecuación:

$$Pa = \frac{B}{Do/t} \quad [2.78]$$

Reemplazando tenemos:

$$Pa = \frac{17900}{7.33} = 2442.01 \text{ PSI} \quad [2.79]$$

Ahora solo se compara Po con la presión de diseño:

$$Pa > Pd \text{ Ok}$$

2.6.4. PLACA PORTA TUBOS SUPERIOR:

La Placa porta tubos según norma debe tener un espesor mínimo de 5/16" y se le agregará 1/8" por criterios de corrosión, se tendrá entonces un espesor como mínimo de la placa porta tubos de 7/16", viendo planchas de acero comerciales en la industria peruana, se utilizará un espesor de 1/2".

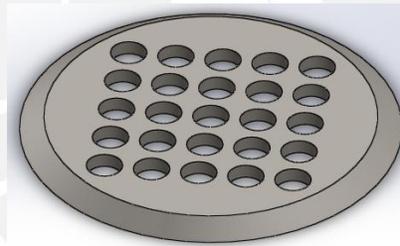


Figura 2.15 Placa porta tubos

Para que haya una mejor transferencia de calor, los tubos de humo deben tener un arreglo de triángulo equilátero. De igual forma las casas constructoras recomiendan una distancia o paso entre tubos (S_L) de 1.25 a 1.75 por el diámetro exterior (D) del tubo.

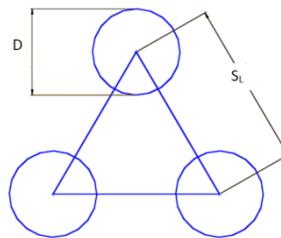


Figura 2.16 Arreglo de los tubos de humo en la placa porta tubos

$$\frac{S_L}{D} = 1.3 \quad [2.80]$$

$$S_L = 42.9 \text{ mm}$$

2.6.4. COMPROBACIÓN DEL DISEÑO DE LA PLACA PORTA TUBOS

Como la placa porta tubos, los tubos de humo y la coraza de la caldera van a estar en contacto, y estarán a altas temperaturas, se tiene que verificar si por efecto de dilatación térmica de cada una de las partes no fallara la placa porta tubos.

Para la comprobación del diseño de la placa porta tubos, se utilizará el procedimiento utilizado en el libro Desing of ProcessEquipment de Kanti K Mahajan[19]

Para lo cual se calcularán primero las siguientes áreas:

- Área transversal del tubo. (a)
- Área transversal interna del casco (A)
- Área transversal de los agujeros de la placa porta tubos (C)

EL ÁREA TRANSVERSAL DE LOS TUBOS DE HUMO (A) SERÁ:

Según la Figura 2.17 podemos calcular el área transversal de los tubos de humo con la relación 2.81

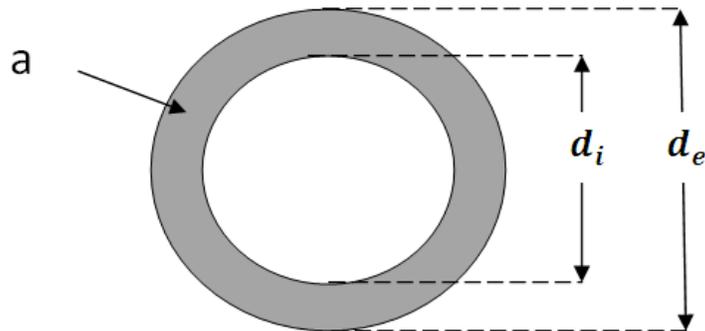


Figura 2.17 Sección transversal de la tubería seleccionada

$$a = \frac{\pi x d_e^2}{4} - \frac{\pi x d_i^2}{4} \quad [2.81]$$

$$a = 402.9 \text{ mm}^2$$

EL ÁREA TRANSVERSAL INTERNA DEL CASCO (A) ES:

Según la Figura 2.18 podemos calcular el área transversal interna del casco con la relación [2.82]

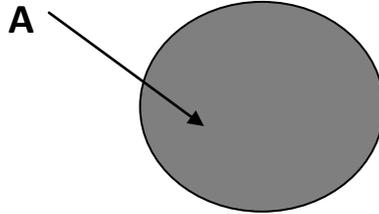


Figura 2.18 área transversal interna del casco

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \tag{2.82}$$

$$A = 90663.8 \text{ mm}^2$$

EL ÁREA TRANSVERSAL DE LOS AGUJEROS DE LA PLACA PORTA TUBOS (C) ES:

Según la Figura 2.19 podemos calcular el área transversal de los tubos de humo con la relación [2.83]

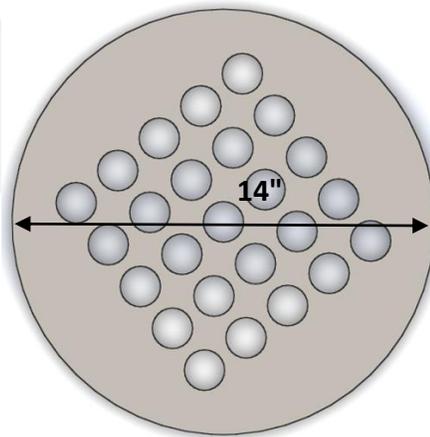


Figura 2.19 Área transversal de los agujeros de la placa porta tubos

$$C = \frac{\pi}{4} \times d_e^2 \times n \tag{2.83}$$

$$C = 21382.46 \text{ mm}^2$$

ÁREA TRANSVERSAL DEL CASCO (B)

Para un casco de espesor $t = 4.76 \text{ mm}$.

$$B = \pi \times (D + t) \times t = 5379.8 \text{ mm}^2 \quad [2.84]$$

DEFLEXIÓN O EFICIENCIA DE LIGAMENTO (η)

$$\eta = \mu = \frac{A-C}{A} = 0.76 \quad [2.85]$$

$$Q = \frac{E_t \times n \times a}{E_s \times B} = \frac{25 \times 0.62}{8.33} = 1.87 \quad [2.86]$$

El módulo de elasticidad del tubo es $E_t = 29870 \text{ Psi}$

El módulo de elasticidad del casco es $E_s = 29870 \text{ Psi}$

PRESIÓN DIFERENCIAL (P)

$$P = P_1 - P_2 - \frac{P_2 \times n \times a}{A-C} \quad [2.87]$$

Reemplazando los valores en la ecuación [2.87] tenemos:

$$P = 10 - 8.22 - \frac{8.22 \times 25 \times 0.62}{140.4 - 33.13} = 0.59 \text{ Psi}$$

Presión por fuera de los tubos de Humo $P_1 = 10 \text{ Psi}$

Presión por fuera de los tubos de Humo $P_2 = 8.22 \text{ Psi}$

EXPANSIÓN DIFERENCIAL (γ)

$$\gamma = \alpha_t \theta_t - \alpha_s \theta_s = 6.862 \times 10^{-6} \times 932 - 6.862 \times 10^{-6} \times 176 \quad [2.88]$$

$$\gamma = 5.18 \times 10^{-3}$$

Dónde:

α_t = coeficiente de expansion termica del casco = $6.862 \times 10^{-6} \text{ in/in}^\circ\text{F}$

θ_t = Temperatura del casco = 176°F

α_s = coeficiente de expansion termica de los tubos = $6.862 \times 10^{-6} \text{ in/in}^\circ\text{F}$

θ_s = Temperatura de los tubos = 932°F

PRESIÓN DIFERENCIAL EFECTIVA (Pe)

$$P_e = P + \gamma \times \frac{E_t \times n \times a}{A - C} \quad [2.89]$$

$P_e = 22.94 \text{ Psi.}$

$$kR = 1.08 * \left[\frac{E_t * n * a}{L * h^3 * E_p * (A - C)} \right]^{\frac{1}{4}} * D \quad [2.90]$$

$$kR = 1.08 * \left[\frac{29870 * 25 * 0.62}{46.22 * 0.5^3 * 29870 * (140.4 - 33.13)} \right]^{\frac{1}{4}} * 14$$

$kR = 6.01 \approx 6$

Con el kR hallado se obtiene de la tabla 2.3 sacada del libro Desing of processEquipmentChapter 5 [20] los siguientes valores:

Tabla2.3. Valores para G1, G2, G3 y G4

kR	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
0	0.800	0.800	+1.000	1.000
0.5	0.809	0.810	+0.998	1.002
1.0	0.820	0.844	+0.966	1.029
1.5	0.871	0.993	+0.836	1.14
2.0	1.012	1.412	+0.546	1.40
2.5	1.34	2.40	+0.121	1.79
3.0	1.88	4.24	-0.306	2.25
3.5	2.36	6.36	-0.608	2.69
4.0	2.75	8.53	-0.741	3.10
4.5	3.10	10.75	-0.727	3.47
5.0	3.43	13.1	-0.619	3.83
5.5	3.77	15.8	-0.541	4.18
6.0	4.12	18.7	-0.515	4.54
7.0	4.82	25.3	-0.529	5.26
8.0	5.54	33.1	-0.564	5.97
9.0	6.26	41.8	-0.602	6.68
10.0	6.98	51.6	-0.642	7.39
12.0	8.43	74.3	-0.727	8.81
14.0	9.88	101.1	-0.816	10.23
16.0	11.33	132.0	-0.907	11.65
18.0	12.80	167.2	-0.999	13.06
20.0	14.25	206.4	-1.091	14.48

$G_1=4.12, G_2=18.7, G_3= -0.515 \text{ y } G_4=4.54$

$P_{traccion} = 36000 \text{ Psi}$ (Permisible según el material de la placa porta tubos)

MÁXIMO ESFUERZO RADIAL

$$P_{rmax} = \frac{[P_e - P_2 * \frac{A}{(A-C)} * Q]}{4 * [Q * G1 + G2]} * (\frac{D}{h})^2 \quad [2.91]$$

$$P_{rmax} = \frac{[22.94 - 8.22 * \frac{140.4}{(140.4 - 33.13)} * 1.87]}{4 * [1.87 * 4.12 + 18.7]} * (\frac{14}{0.5})^2$$

$$P_{rmax} = 20.94 \text{ Psi}$$

$$P_{rmax} < P_{tracci\text{on}delaplaca} \quad \text{Ok}$$

$$P_{tmax} = (\frac{A-C}{n*a}) * (P - G3 * \frac{[P_e - P_2 * \frac{A}{(A-C)} * Q]}{[Q + G4]}) \quad [2.92]$$

$$P_{tmax} = (\frac{140.43 - 33.13}{25 * 0.62}) * (0.59 + 0.515 * \frac{[22.94 - 8.22 * \frac{140.4}{(140.4 - 33.13)} * 1.87]}{[1.87 + 4.54]})$$

$$P_{tmax} = 5.6 \text{ Psi}$$

$$P_{tmax} < P_{tracci\text{on}delostubos} \quad \text{Ok}$$

Con los cálculos anteriormente hechos podemos verificar entonces que la placa porta tubos no falla debido a efectos de temperatura.

2.6.5 DISEÑO DE LAS BRIDAS DE ENSAMBLAJE DE LA CALDERA:

Para ensamblar el casco de la caldera a la chimenea y a el Hogar, se diseñaran bridas, estas bridas tendrán diámetro interno de 14”, tendrán un espesor de 1” estimado, y será de material ASTM A - 36, y se diseñaran utilizando el procedimiento del libro *Desing of ProcessEquipment de Kanti K Mahajan*,[21]

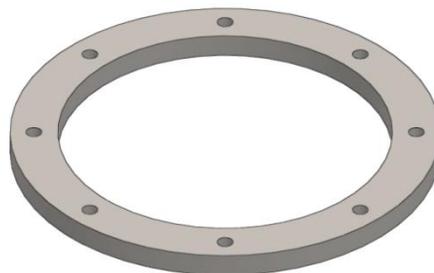


Figura 2.20 Brida para ensamble de caldera.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS BRIDAS

En la Figura 2.21 se observa una brida de tipo SLIP-ON, este será nuestro modelo de referencia, y a continuación se procede a calcular sus principales dimensiones.

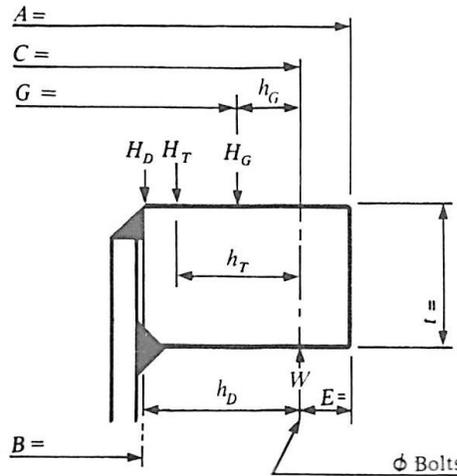


Figura 2.21 Dimensiones de brida de la caldera [22]

Dónde:

- B: Diámetro Interior de la brida
- C: Circulo diametral de la ubicación de los pernos.
- G: Diámetro de colocación de los empaques.
- A: Diámetro exterior de la brida.
- E: Distancia Radial desde el circulo de ubicación de los pernos hasta el diámetro exterior de la brida.
- t: Espesor de la brida.

$B = 14''$ (Diámetro exterior del casco)

$C = B + 2R$ [2.93]

$A = C + 2E$ [2.94]

Dónde:

- B: Diámetro Interior de la brida
- R: es la distancia radial mínima del perno al diámetro interior de la brida (Ver Anexo 5, Figura 2.22)
- E: distancia mínima al borde de la brida (Ver Anexo5, Figura 2.22)

En el anexo 5nos dan los datos de diferentes diámetros de pernos, para nuestra caldera utilizaremos pernos de 5/8" cuyo valor de $R= 15/16"$, nosotros tomaremos un valor de $R= 1"$, y valor de $E= 3/4"$ le daremos un valor de $E= 1"$.

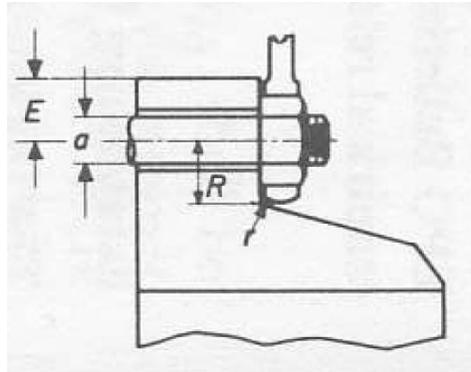


Figura 2.22 Esquema representativo E y R de un perno [23]

Reemplazando en la ecuación 2.80 y 2.81 tenemos:

$$C= 344.6 + 2 \times 25.4 = 406.4 \text{ mm}$$

$$A= 406.4 + 2 \times 25.4 = 457.2 \text{ mm}$$

Una vez que tenemos las dimensiones principales de la brida, pasamos a verificar si a las condiciones de diseño estas bridas fallan, los cálculos de la verificación de la brida se muestran a continuación:

VERIFICACIÓN DE FALLA DE LAS BRIDAS EN CONDICIONES DE DISEÑO

CONDICIONES DE DISEÑO

- Presión de diseño: $P = 10 \text{ PSI (70kPa)}$
- Temperatura de diseño : $90 \text{ }^\circ\text{C}$
- Material de la brida: ASTM A-36
- Material de los pernos: Pernos de Grado 8

ESFUERZOS PERMISIBLES:

- Pernos a la temperatura de diseño: $S_b = 105000 \text{ Psi}$
- Pernos a la temperatura atmosférica: $S_a = 105000 \text{ Psi}$
- Bridas a la temperatura de diseño: $S_{fo} = 80000 \text{ Psi}$
- Bridas a la temperatura atmosférica: $S_{fa} = 80000 \text{ Psi}$

MATERIALES Y ANCHO DE LOS EMPAQUES

Se utilizara un empaque de asbesto de 1/16" de espesor y un ancho de 3/4" de la Norma ASME Sección VIII div. 2 y presión de diseño 10 Psi.

DETALLES DEL EMPAQUE

Ancho de empaque $N = 3/4"$

Carga permisible del asiento del empaque: $Y = 3700$ Psi

b_0 : Ancho del asiento básico del empaque

$$b_0 = \frac{N}{2} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8} \quad [2.95]$$

Factor de empaque $m = 2,75$ (Anexo 6)

b : Ancho efectivo del asiento del empaque

$$b = \frac{\sqrt{b}}{2} = \frac{\sqrt{\frac{3}{8}}}{2} = 0,306 \text{ in} \rightarrow 7,77 \text{ mm} \quad [2.96]$$

Minimum required Bolt load for gasket seating W_{m_2} Figura 2.23

$$W_{m_2} = \pi b G y \quad [2.97]$$

Siendo:

G : Longitud del diámetro donde ocurre la reacción de una carga en el empaque.

$$G = C - a - 2 \times 0,2785 - 2b \quad [2.98]$$

$$G = 406,4 - 15,875 - 2 \times 0,2785 - 2 \times 7,77 = 374,42 = 14,74$$

$$W_{m_2} = \pi \times 0,306 \times 14,74 \times 3700 \text{ PSI} = 52428,87 \text{ in}^2 \text{ PSI} \quad [2.99]$$

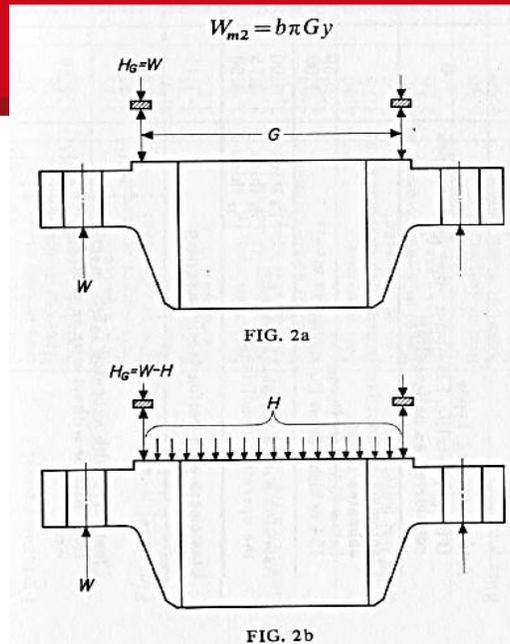


Figura 2.23 Reacción en pernos y empaque [24]

$$H_p = 2 \pi \times bGmP = 2\pi \times 0,306 \times 14,74 \times 2,75 \times 10 = 779.35 \text{ in}^2 \text{ PSI} \quad [2.100]$$

$$H = \frac{G^2 \pi P}{4} = \frac{14,74^2 \times \pi \times 30}{4} = 1706.41 \text{ in}^2 \text{ PSI} \quad [2.101]$$

$$W_{m_1} = H + H_p = 2338 + 5119 = 2485.76 \text{ in}^2 \text{ PSI} \quad [2.102]$$

$$A_m = \frac{W_{m_2}}{S_a} = \frac{52428,87}{105000} = 0,4993 \text{ in}^2 \quad [2.103]$$

$$A_b = 8 \times 0,202 = 1,616 \text{ in}^2 \quad [2.104]$$

$$W = \frac{(A_m + A_b)S_a}{2} = \frac{(0,4993 + 1,616) \times 105000 \text{ PSI}}{2} = 111053.25 \text{ in}^2 \text{ PSI} \quad [2.105]$$

$$W_{m_1} = 2485.76 \text{ in}^2 \text{ Psi} \quad [2.106]$$

$$N_{min} = \frac{A_b \times S_a}{2 \gamma \pi G} = \frac{1,616 \times 105000}{2 \times 3700 \times \pi \times 14,74} = 0,495 \quad [2.107]$$

CARGA DE OPERACIÓN DE LA BRIDA

$$H_D = 0,7854 B^2 \times P = 0,7854 \times 14^2 \times 10 = 1539.38 \text{ Lb} \quad [2.108]$$

$$H_G = H_p = 779.35 \text{ (in}^2 \text{ PSI)}. \text{ Lb} \quad [2.109]$$

$$H_T = H - H_D = 1706.4 - 1539.38 = 167.02 \text{ Lb} \quad [2.110]$$

BRAZO DE PALANCA (Figura 2.24 y 2.25)

$$h_D = \frac{(C-B)}{2} = \frac{16-14}{2} = 1 \text{ in} \tag{2.111}$$

$$h_G = \frac{C-G}{2} = \frac{16-14,74}{2} = 0,63 \text{ in} \tag{2.112}$$

$$h_T = \frac{(h_D+h_G)}{2} = 0,815 \tag{2.113}$$

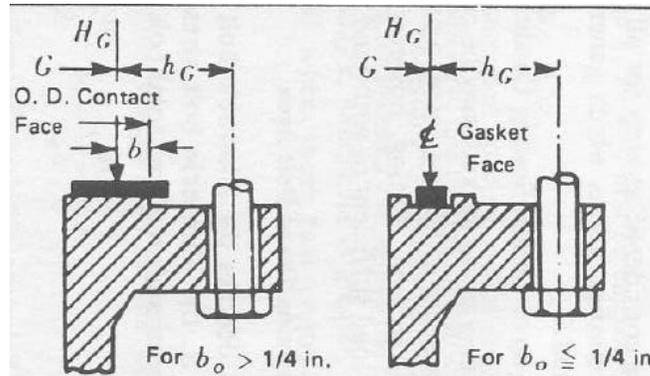


Figura 2.24 Ubicación de la reacción de carga del empaque [25]

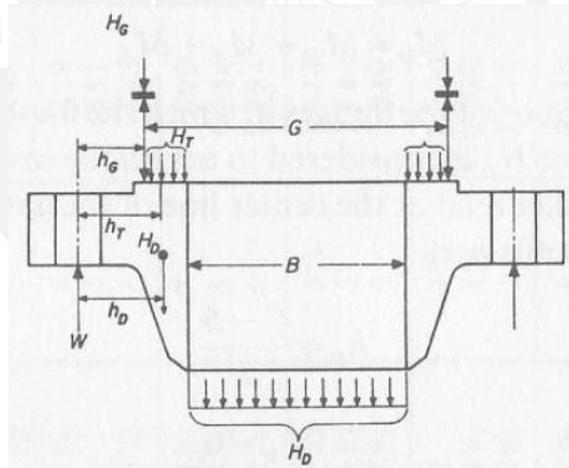


Figura 2.25 Fuerza y brazo de palanca en condiciones de operación [26]

MOMENTO DE OPERACIÓN DE LA BRIDA

$$M_D = H_D h_D = 1539.38 \text{ Lb} \times 1 \text{ in} = 1539.38 \text{ Lb} - \text{in} \tag{2.114}$$

$$M_G = H_G h_G = 779.35 \text{ Lb} \times 0,63 = 490.99 \text{ Lb} - \text{in} \tag{2.115}$$

$$M_T = H_T h_T = 267.02 \text{ Lb} \times 0,815 = 136.12 \tag{2.116}$$

$$M_O = M_D + M_T + M_G = 2166.49 \text{ Lb} - \text{in} \quad [2.117]$$

CARGA EN EL ASIENTO DE LA BRIDA

$$H_G = W = 111053.25 \text{ lb} \quad [2.118]$$

BRAZO DE PALANCA

$$h_G = \frac{(C-G)}{2} = 0,63 \text{ in} \quad [2.119]$$

MOMENTO EN EL APOYO DEL EMPAQUE DE LA BRIDA

$$M_O = Wh_G = 69963.54 \text{ Lb} \quad [2.120]$$

Si el espacio entre pernos es mayor $2a + t$, se debe aplicar el factor de corrección:

$$0.5 + 2 \times \frac{5}{8} > 1 \frac{1}{2}$$

$$1.75 > 1.5$$

$$C_f = \sqrt{\frac{\text{Boltspacio}}{2a+t}} = \sqrt{\frac{1,5}{2 \times (\frac{5}{8}) + 1}} = 0,92 \quad [2.121]$$

$$M = \frac{M_O C_T}{B} = \frac{15074,3 \times 0,81}{14} = 4626.6818 \text{ Lb} - \text{in} \quad [2.122]$$

SHAPE CONSTANT

$$K = \frac{A}{B} = \frac{18}{14} = 1,285 \quad [2.123]$$

$$Y = 8,13 \quad [2.124]$$

$$t = \sqrt{\frac{MY}{S_{fa}}} = \sqrt{\frac{872,15 \times 8,13}{15600}} = 0,68 \text{ in} \quad [2.125]$$

PERNO

$$P_{max} = \frac{A_b S_b}{\frac{\pi}{4} G^2 + [2\pi b \ 6m + R_{A(m)}} = \frac{1,616 \times 105000}{\frac{\pi}{4} \times 14,74^2 + [2\pi \times 0,306 \times 14,74 \times 2,75]} \quad [2.126]$$

$$P_{max} = 682.6 \text{ PSI} \quad [2.127]$$

BRIDA

$$M_{max} = \frac{t^2 S_{ta}}{y} = \frac{0,68^2 \times 80000 \text{ PSI}}{8,13} = 4550.06 \text{ Lb} - \text{in} \quad [2.128]$$

$$M_O = \frac{M_{max} (B)}{C_f} = \frac{4550,06 \text{ Lb} - \text{in} \times 14 \text{ in}}{0,92} = 69240 \text{ Lb} - \text{in} \quad [2.129]$$

$$P_{max} = \frac{M_O}{\left(\frac{\pi}{4} B^2\right) h_D + \left[2\pi b \times 6 \times m \times h_G + \left[\frac{\pi}{4} (G^2 - B^2)\right] h_T\right]} \quad [2.130]$$

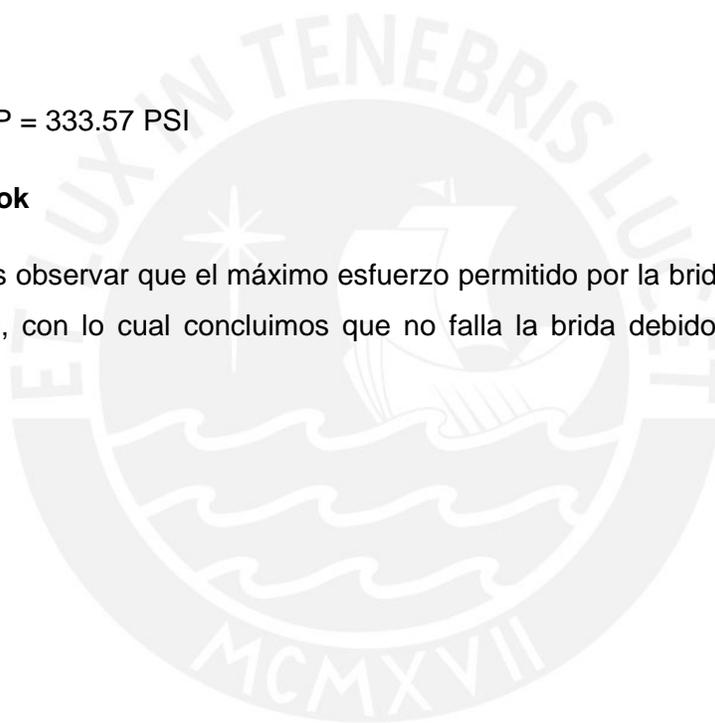
$$P_{max} = \frac{69240}{\left(\frac{\pi}{4} \times 14^2\right) \times 2\pi \times 0,306 \times 14,74 \times 2,75 \times 0,63 + \left[\frac{\pi}{4} (14,74^2 - 14^2)\right] \times 0,815} \quad [2.131]$$

$$P_{max} = 333.57 \text{ PSI} \quad [2.132]$$

Entonces el MAWP = 333.57 PSI

Con **MAW > Pd ok**

Con esto podemos observar que el máximo esfuerzo permitido por la brida es mayor que la presión de diseño, con lo cual concluimos que no falla la brida debido a la presión que soportara.



2.6.6 VERIFICACION DEL SOPORTE DE LA CALDERA A FALLAR POR PANDEO O FLUENCIA

Se debe verificar si el soporte de la caldera falla por fluencia o por pandeo, debido al peso propio de la caldera (el peso del material del cual está hecha la caldera) más el peso del agua que contiene la caldera. La caldera es soportada por cuatro ángulos L de 2"x 2" x 1/4" de 400 mm de largo.

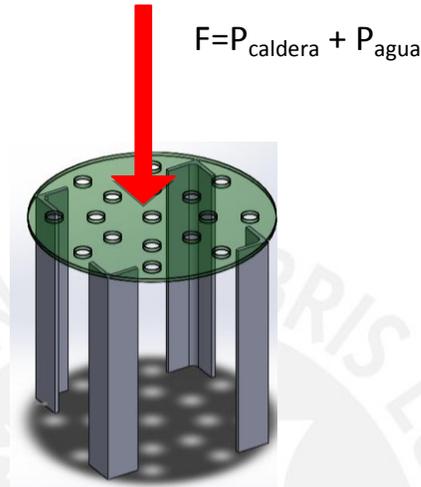


Figura 2.26 Esquema de la fuerza que debe soportar las patas del caldero

El Pandeo es igualmente crítico tanto alrededor de X - X como de Y - Y (ambos ejes libres)

$$\text{Radio de giro: } i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{4(I_{1\bar{x}} + A_1 \cdot d^2)}{4A_1}} = \sqrt{i_{1\bar{x}}^2 + d^2} \quad [2.133]$$

De Tablas: $i_{1\bar{x}} = 1.50 \text{ cm}$

$$d = 12.55 - e$$

El valor de e lo podemos encontrar en el Anexo 8 donde nos indican las propiedades de los perfiles de ángulo L.

$$d = 12.55 - 1.45 = 11.3 \text{ cm}$$

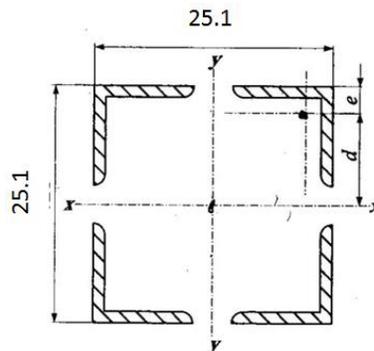


Figura 2.27 Arreglo del Soporte de la Caldera formado por perfiles Angulares L

$$\lambda_x = \frac{L}{i_x} = \frac{40}{11.2} = 3.57 \quad [2.134]$$

$$\lambda_{xi} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m_x}{2} * \lambda_1^2} = 50.13 \quad [2.135]$$

Con el valor de λ_{xi} podemos ver en el Anexo 7 la tabla extraída del libro *de Resistencia de Materiales 2* el valor del coeficiente de pandeo w_{xi} .

$$w_{xi} = 1.22$$

Se debe cumplir que: $w_{xi} * \sigma \leq \sigma_{FAdm}$

$$w_{xi} * \frac{F}{4A_1} \leq \sigma_{FAdm} \quad [2.136]$$

$$1.22 * \frac{F}{4 * 0.000569} \leq 146.19 \text{ MPa}$$

$$F \leq 272.72 \text{ kN}$$

La fuerza total que deben soportar las patas del caldero son el peso del caldero vacío (el peso del material del cual está hecho la caldera) más el peso del agua que contiene la caldera: el cual en total es 2.462 kN

$$2.462 \text{ kN} \leq 272.72 \text{ kN}$$

Como la fuerza admisible que soporta la caldera es menor que la fuerza máxima permisible, entonces las patas de la caldera no fallaran por peso propio.

2.6.7 VERIFICACION DE LA UNION POR SOLDADURA ENTRE EL ANILLO DE RETENCION Y EL CASCO

En nuestra caldera para darle soporte a la placa porta tubos superior, esta se va apoyar por su parte superior con un anillo de retención este le dará rigidez a la unión además de darle cierto nivel de hermeticidad al interior de la caldera, manteniendo la presión dentro del casco, este anillo de retención será soldado al casco (Figura 2.28) por lo que sus cordón de soldadura tendrá que poder soportar la presión a la cual será diseñado (10PSI).

Para calcular la unión soldada entre el anillo de retención y el casco se utilizara el procedimiento planteado en el curso *de elementos de maquina 1*, procedimiento el cual está basado en el Eurocodigo 3.

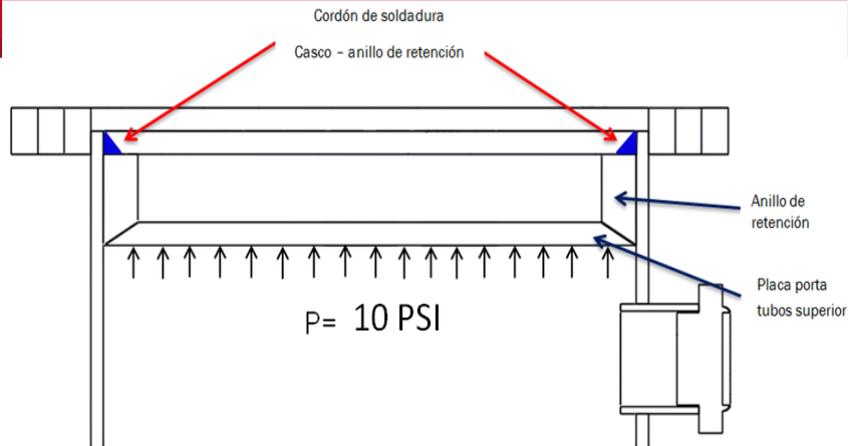


Figura 2.28 Esquema de la placa porta tubos – anillo de retención

CÁLCULO DEL ESPESOR DEL CORDON

$$a_{max} = 0,7 \times t \text{ (teselmenordelosespesoresasoldar)}$$

$$a_{max} = 0,7 \times 4,76 = 3,3 \text{ mm}$$

$$a_{min} \geq 3 \text{ mm}$$

Usamos entonces un cordón de espesor:

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$D = 345.48,76 \text{ mm}$$

El área de soldadura el cual tendrá que resistir la presión en el interior de la caldera será

$$A_n = \pi \times D \times a \tag{2.82}$$

$$A_n = \pi \times 345.48 \times 3$$

$$A_n = 3256,07 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 0,003256 \text{ m}^2$$

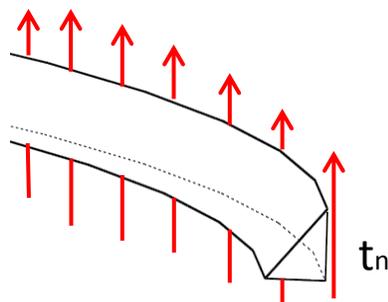


Figura 2.29 Cordón de soldadura sometida a corte directo

AREA QUE TRANSMITIRÁ LA FUERZA

$$A = \pi \frac{D^2}{4} - \frac{\pi(D-2a)^2}{4} \quad [2.83]$$

$$A = \left[\frac{0,345^2}{4} - \frac{(0,345 - 0,006)^2}{4} \right] \pi$$

$$A = 0,00322779 \text{ m}^2$$

FUERZA A LA QUE ESTA SOMETIDO EL CORDON

$$P = \frac{F}{A} \quad [2.84]$$

$$F = P \times A$$

$$F = 68947.57 \text{ N/m}^2 \times 0,00322779$$

$$F = 222.54 \text{ N}$$

Esta será la fuerza a la cual estará sometido el cordón de soldadura, como se ha visto en la figura 2.25 estará sometido a un esfuerzo por corte directo ta.

Ahora:

ESFUERZO POR CORTE DIRECTO

$$t_n = \frac{f}{A} = \frac{222.54}{0,003256} = 68 \text{ kN} \quad [2.85]$$

El esfuerzo equivalente de acuerdo al Eurocodigo 3 está basado en la teoría de falla de la energía de distorsión, y se deben verificar las dos siguientes condiciones.

$$\sigma_q = \sqrt{\sigma_n^2 + 3(t_n + t_a)^2} \leq \frac{\sigma_B}{\rho_w \gamma_{M_w}} \quad [2.86]$$

$$\sigma_n \leq \frac{\sigma_B}{\gamma_{M_w}} \quad [2.87]$$

Dónde: $\gamma_{M_w} \geq 1,25$

$$\sigma_n = \frac{n + t_n}{\sqrt{2}} = \frac{0 + 68}{\sqrt{2}} = 48.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad [2.88]$$

$$t_n = \frac{n-t_n}{\sqrt{2}} = 0 - \frac{68}{\sqrt{2}} = -48.33 \frac{kN}{m^2} \quad [2.89]$$

$$\tau_n = t_a = 0 \quad [2.90]$$

Reemplazando en 2.86 tenemos:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3(t_n^2 + t_a^2)}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(48.33)^2 + 3(-48.33)^2}$$

$$\sigma_{eq} = 96.66 \text{ kN}/m^2$$

Verificando las condiciones tenemos:

$$96.66 \leq \frac{430}{0,85 \times 1,25}$$

$$96.66 < 404 \text{ Ok}$$

$$\text{Verificaremos: } \sigma_n \leq \frac{\sigma_B}{\gamma_{M_w}}$$

$$48.33 < \frac{430}{1.25}$$

$$48.33 < 344 \text{ Ok}$$

Con lo cual verificamos que el cordón de soldadura puede soportar la presión de diseño sin fallar

2.7. SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROLES BÁSICOS

Los sistemas de medición y controles básicos utilizados en el diseño de la caldera de calefacción se muestran en la Figura 2.30

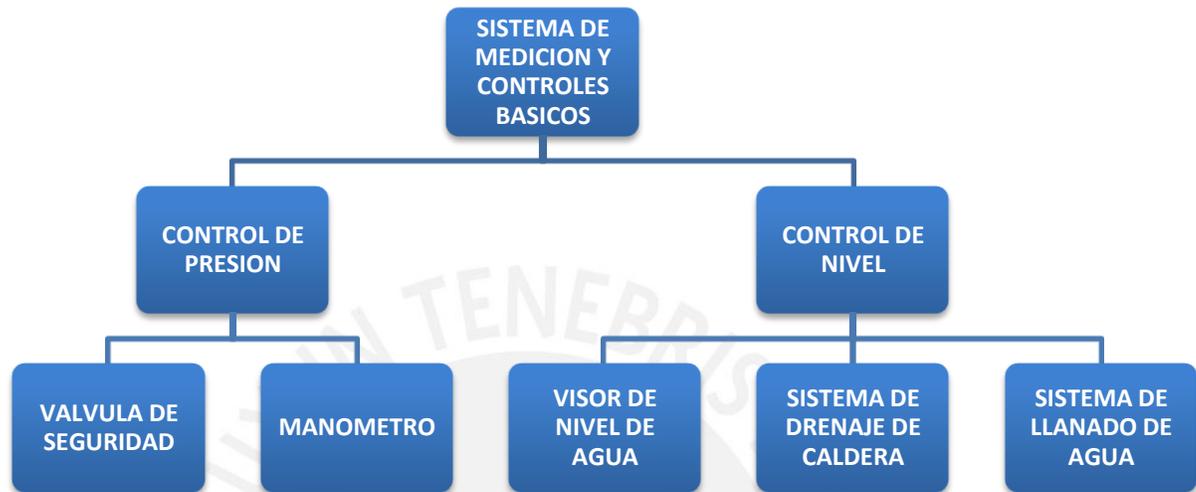


Figura 2.30 Diagrama de los sistema de medición y controles básicos requeridos en el diseño de la caldera

2.7.1. CONTROL DE PRESION

VALVULA DE SEGURIDAD

Es una simple válvula mecánica que en su interior consta de un resorte y un sello perfectamente ajustado, el cual impide el paso de cualquier gas o líquido hasta cierta presión que se puede regular en su parte extraer con la ayuda de un tornillo que comprime o descomprime el resorte, en todo caso el principio de funcionamiento es sencillo, ya que no requiere más que la regulación de la fuerza aplicada sobre el resorte, en función de la presión interna.

Para caldera de calefacción se usará una válvula de seguridad que actúa por presión, y estará seteada a la presión de diseño, será de conexión roscada de 3/4 "(Figura 2.31)

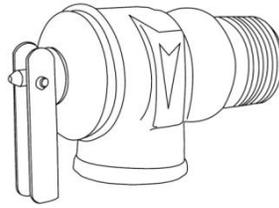


Figura 2.31 Válvula de seguridad [27]

La válvula de seguridad ira colocada de manera horizontal, y se conectará a la caldera por medio de una conexión roscada de $\frac{3}{4}$ ". La salida de la válvula de seguridad por medio de una conexión de tuberías deberá ser llevada a un drenaje, o a un lugar seguro donde pueda drenar el agua caliente, sin poner en riesgo a los usuarios de la vivienda.

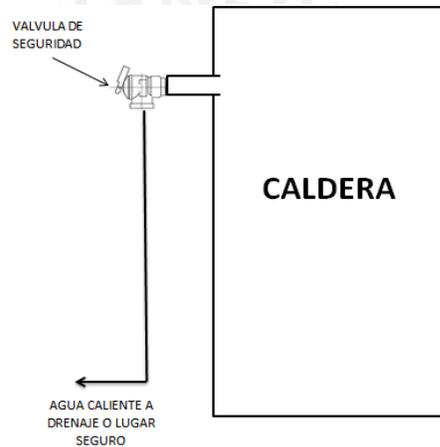


Figura 2.32 Disposición de la válvula de alivio en la caldera

MANOMETRO

Elemento utilizado para monitorear la presión de trabajo de la caldera de calefacción en un rango de 0 a 4 bar (58 PSI).

Sera de conexión roscada de $\frac{1}{2}$ "



Figura 2.33 Manómetro de rango de 0 a 4 bar [28]

2.7.2. CONTROL DE NIVEL

VISOR DE NIVEL

Visor de nivel de conexión roscada de 2", es el elemento que permite ver el nivel de agua que hay dentro de la caldera de calefacción, por el tipo de visor de nivel que utilizaremos, se colocaran dos visores de nivel en la caldera, un visor de nivel de máximo de agua, y un visor de nivel mínimo.



Figura 2.34 Visor de Nivel Roscado [29]

SISTEMA DE LLENADO Y VACIADO DE AGUA EN LA CALDERA

El sistema de llenado y vaciado de agua de la caldera es sencillo. El sistema de llenado (Figura 2.35) consta de una tubería de 1" que entra por la parte superior al casco de la caldera y termina en un tapón roscado el cual se retira cuando se va llenar de agua la caldera. El sistema de drenaje (Figura 2.36) es una tubería de $\frac{3}{4}$ " colocada en la parte inferior del casco y es controlado el flujo de salida mediante una válvula.

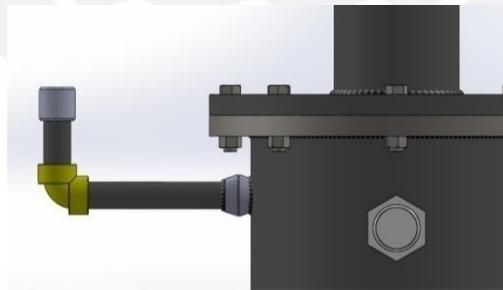


Figura 2.35 Sistema de Llenado de Agua a la Caldera

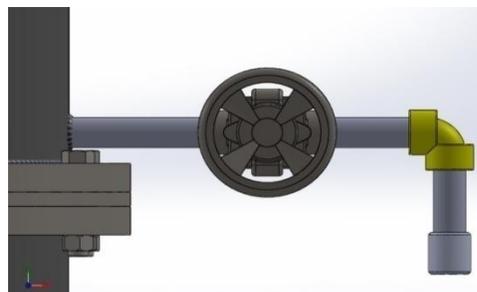


Figura 2.36 Sistema de Drenaje de la caldera.

2.8 AISLAMIENTO DE LA CALDERA

Con el objeto de reducir notablemente las pérdidas por transferencia de calor en las superficies del caldero, se recubrirá de una capa aislante tanto en la superficie externa de la caldera como en la chimenea, y entradas y salidas de la caldera. La elección del tipo de aislamiento así como el espesor efectivo se limitará a las características de los materiales que se encuentran en el mercado. Un aislamiento muy común y de fácil adquisición es la lana de fibra de vidrio, que se lo encuentra en rollos de 15 metros con un espesor de 25mm y un ancho de 1.2 metros.

El aislante mencionado resulta ideal para nuestra aplicación ya que, su montaje es sencillo, no representa elevados costos de inversión y posee una excelente resistencia térmica. Debido a que este material se lo encuentra por rollos, utilizaremos dos capas de aislante sobre la superficie del caldero, logrando así un espesor de pared de 50mm, este a su vez será protegido por una chapa metálica que evitara su deterioro



Figura 2.37 Lana de Fibra de vidrio [30]

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA DEL CAPITULO 2

- [1] Lucí Harman, Confort Térmico en Viviendas Alto Andinas...un enfoque integral, Care Perú, 2010.
- [2] Norma DIN EN 12831
- [3] Norma DIN EN 12831
- [4] Shields Carl D. , [Calderas : tipos, características y funciones](#). Página 632
- [5] Bagaria Jorge, Prontuario de Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Página VII.1
- [6] Harold Javier Alvarez Pablo, Estudio de cocinas mejoradas empleando leña y Bosta como combustible. Tesis PUCP 2009. Página 16.
- [7] Bagaria Jorge, Prontuario de Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Página III.4
- [8] Harold Javier Alvarez Pablo, Estudio de cocinas mejoradas empleando leña y Bosta como combustible. Tesis PUCP 2009. Página 20.
- [9] <http://www.uclm.es/profesorado/jvillasenor/esp/contatm/tema5-chimeneas.pdf>
- [10] B.V. Karlekar, Transferencia de calor 2da Ed.
- [11] B.V. Karlekar, Transferencia de calor 2da Ed. Página 772
- [12] <http://www.uclm.es/profesorado/jvillasenor/esp/contatm/tema5-chimeneas.pdf>
- [13] <http://www.uclm.es/profesorado/jvillasenor/esp/contatm/tema5-chimeneas.pdf>
- [14] B.V. Karlekar, Transferencia de calor 2da Ed. Página 417
- [15] Código ASME sección IV, calderas de calefacción.
- [16] Código ASME sección II, parte D.
- [17] Código ASME sección II, parte D.
- [18] Código ASME sección II, parte D.
- [19] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página161
- [20] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página 163
- [21] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página 59
- [22] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página 120
- [23] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página 70
- [24] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página 63
- [25] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página 67
- [26] Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment, Página 72
- [27] Catalogo de Válvulas de Alivio Cash Acme

[28] <http://www.hecapo.com/web/producto.php?idP=1901>

[29] <http://www.hardval.com.ar/visores-flujo.html>

[30] http://www.aislaperu.com/detalles_productos.php?Id_prod=16



3. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En este capítulo se analizarán los costos que se presentan en la construcción del caldero, teniendo en cuenta datos importantes como son materia prima, mano de obra directa, costos de utilización de maquinarias, gastos indirectos de fabricación.

También en este capítulo se hará un análisis de los costos de soldadura que ocasiona el construir el caldero.

3.1. Análisis de Costos:

Para el análisis de costos se considera:

3.1.1. Mano de obra directa:

Es el esfuerzo físico y mental que realizan las personas que construirán el caldero.

3.1.2. Materiales Directos:

Son los materiales identificables en la construcción directa del caldero terminado.

3.1.3. Costo de Utilización de Maquinaria:

Es el valor que cuesta utilizarla maquinaria.

3.1.4. Costos indirectos de fabricación:

Son todos los costos diferentes a los de mano de obra y materiales indirectos que participan en la fabricación del caldero, no son muy fáciles de identificar.

Los costos indirectos que participan en la construcción del Caldero son:

Material Prima Indirecta

Mano de obra Indirecta (Ingeniería, Supervisión, calidad)

Otros

3.2. COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA:

Para poder calcular el costo de la mano de obra directa se debe calcular el tiempo total que se utilizará en todas las actividades de construcción de la caldera desde la preparación de la materia prima, hasta el montaje y ensamble de cada uno de los componentes de la caldera.

3.2.1. TIEMPOS EN LAS DIFERENTES ACTIVIDADES:

Estas actividades con su respectivo tiempo estimado de duración se presentan en la tabla 3.1

Tabla 3.1. Tiempos de las Diferentes actividades

ACTIVIDAD	NOMBRE DE ACTIVIDAD	TOTAL (HORAS)
1	CORTE DE PLACAS PORTA TUBOS	3
2	PERFORADO DE AGUJERO DE PLACA PORTA TUBOS	1.5
3	CORTE DE BRIDAS	4.5
4	CORTE DE ACABADO DE BRIDAS	3
5	PERFORADO DE AGUJERO DE BRIDAS	1.5
6	CORTE DE TAPA DE CHIMENEA	1.5
7	CORTE DE ACABADO DE TAPA DE CHIMENEA	0.75
8	CORTE DE TUBOS DE HUMO	1.5
9	CORTE DE PLANCHA PARA CORAZA	0.5
10	CORTE DE TUBO DE HOGAR	0.5
11	CORTE DE TUBO DE CHIMENEA	0.15
12	CORTE DE AGUJEROS EN LA CORAZA	3
13	CORTE DE NIPLES CONECCIONES DE LA CORAZA	2
14	CORTE DE TAPA DE FONDO DE HOGAR	1
15	PERFORADO DE AGUJEROS DE FONDO DE HOGAR	1
16	ROLADO DE PLANCHA DE CORAZA	1.25
17	CORTE DE SOPORTE DE PARRILLA	0.75
18	CORTE DE BARRA LISA REDONDA PARA PARRILLA	0.5
19	CORTE DE PUERTA DE HOGAR	1.25
20	CORTE DE SOPORTES	0.75
21	CORTE DE BASE DE SOPORTES	1
22	SOLDADO	13.75
23	PRUEBA HIDROSTATICA	1
24	PINTADO	1.5
25	MONTAJE DE PARTES	2
26	COLOCACION DE AISLAMIENTO	4
	TOTAL DE HORAS	53.15

Para el análisis se dará un 20% adicional por tiempos muertos, debido a todo tipo de inconvenientes que pudiera tener el operario en cada una de las actividades.

Entonces se tiene un tiempo empleado en la construcción de un caldero de **63.78 Horas**.

3.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA:

El costo total de la mano de obra directa en el proceso de fabricación de la caldera se presenta en la tabla 3.2

Tabla 3.2. Costo de mano de obra directa

COSTO DE MANO DE OBRA (S/.)	TOTAL DE HORAS TRABAJADAS (H)	COSTO A PAGAR (S/.)
5	63.78	318.9

3.3. COSTO DE MATERIALES DIRECTOS:

El análisis del costo de los materiales directos se basará en los planos de fabricación realizados, donde se indican el tipo de material y la cantidad de cada uno de los elementos que conforman el caldero.

3.3.1 MATERIA PRIMA

La tabla 3.3 muestra los materiales que se van a utilizar en la construcción de la caldera, se detallan los precios y las dimensiones en las cuales normalmente se comercializan para hacer más fácil el análisis de los costos de construcción del caldero, estos datos han sido tomados de diferentes distribuidoras de materiales metálicos.

Tabla 3.3. Costo de Materia Prima

ITEM	MATERIAL	COSTO (S/.)
1	TUBERÍA 1 1/2" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S. X 6 METROS DE LARGO	153.9584
2	PLANCHA (ASTM A36) DE 3/16" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	130
3	TUBERÍA 1" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S. X 6 METROS DE LARGO	54.312
4	TUBERÍA 3/4" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S. X 6 METROS DE LARGO	75.64
5	TUBERÍA 1/2" SCH 160 A-53 GR.B TIPO S. X 6 METROS DE LARGO	25.792
6	TUBERÍA 2" SCH 40 A-53 GR.B TIPO S. X 6 METROS DE LARGO	99.2
7	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	297.6
8	BARRA REDONDA DE 3/8"Ø X 20PIES, MATERIAL ACERO AL CARBONO ASTM A36	9.7216
9	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/4" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	198.4
10	ANGULO ESTRUCTURAL L 2" x 1/4" ASTM A-36 X 20 PIES DE LARGO	62

A continuación se presentará la tabla 3.4 con las partes que compone la caldera y sus dimensiones, esta tabla servirá para saber exactamente qué cantidad de material se va requerir y en un cálculo posterior saber el costo de la material que vamos a requerir.

Tabla 3.4. Materiales de los diferentes elementos

ITEM	DENOMINACION	DIMENSION (mm)	MEDIDA	CANTIDAD	MATERIAL
1	CHIMENEA	1500	LONGITUDINAL	1	TUBERIA 1 1/2" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S. X 6 METROS DE LARGO
2	TAPA DE CHIMENEA	500 x 500	PLANCHA	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
3	TUBOS DE HUMO	1200	LONGITUDINAL	25	TUBERÍA 1" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S
4	PLACA PORTA TUBOS SUPERIOR	350 x 350	PLANCHA	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
5	PLACA PORTA TUBOS INFERIOR	415 x 415	PLANCHA	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
6	BRIDA DE ACOUPLE	460 x 460	PLANCHA	3	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
7	CUERPO DE CALDERA	1500X1500	PLANCHA	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 3/16" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
8	CUERPO DE HOGAR	1200X350	LONGITUDINAL	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 3/16" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES
9	ANILLO DE RETENCION	450 x 450	PLANCHA	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 3/4" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
10	ANILLO DE SOPORTE DE PARRILLA	450 x 450	PLANCHA	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
11	PARRILLA	4500	LONGITUDINAL	1	BARRA REDONDA DE 3/8"Ø X 20PIES, MATERIAL ACERO AL CARBONO ASTM A36
12	TAPA DE FONDO DE HOGAR	360 x 360	PLANCHA	1	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
13	SOPORTES DE LA CALDERA	550	LONGITUDINAL	4	ANGULO ESTRUCTURAL L 2" x 1/4" ASTM A-36 X 20 PIES DE LARGO
14	BASE DE SOPORTE DE CALDERA	127X127	PLANCHA	4	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO
15	TUBERIA DE ENTRADA DE AGUA, SALIDA DE AGUA, Y LLENADO DE CALDERA	900	LONGITUDINAL	1	TUBERÍA 1" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S
16	TUBERIA DE DRENAJE Y VALVULA DE ALIVIO	450	LONGITUDINAL	1	TUBERÍA 3/4" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S
17	TUBERIA DE MANOMETRO	100	LONGITUDINAL	1	TUBERÍA 1/2" SCH 160 A-53 GR.B TIPO S
18	TUBERIA DE VISOR DE NIVEL	100	LONGITUDINAL	2	TUBERÍA 2" SCH 40 A-53 GR.B TIPO S

Del material necesario para los elementos de la caldera considerados en la tabla 3.4, y del precio de la materia prima de la tala 3.3 podemos obtener el costo de los materiales directos para comprar.

Este resumen del costo total de la materia prima se presenta en la tabla 3.5

Tabla 3.5 Costo de materia prima

ITEM	DENOMINACION	MATERIAL	CANTIDAD DE MATERIAL A COMPRAR	UNIDAD	COSTO (S/.)
1	CHIMENEA	TUBERIA 1 1/2" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S. X 6 METROS DE LARGO	1	m	79.46
2	TAPA DE CHIMENEA	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	0.21	m ²	7.50
3	TUBOS DE HUMO	TUBERÍA 1" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S	31	m	279.00
4	PLACA PORTA TUBOS SUPERIOR	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	0.123	m ²	4.07
5	PLACA PORTA TUBOS INFERIOR	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	0.17	m ²	5.62
6	BRIDA DE ACOUPLE	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5	0.64	m ²	25.35
7	CUERPO DE CALDERA	PLANCHA (ASTM A36) DE 3/16" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	1.2	m	85.75
8	CUERPO DE HOGAR	PLANCHA (ASTM A36) DE 3/16" ESPESOR X 5	0.35	m	35.45
9	ANILLO DE RETENCION	PLANCHA (ASTM A36) DE 3/4" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	0.15	m ²	6.75
10	ANILLO DE SOPORTE DE PARRILLA	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	0.2	m ²	6.61
11	PARRILLA	BARRA REDONDA DE 3/8"Ø X 20PIES, MATERIAL ACERO AL CARBONO ASTM A36	4.5	m	7.29
12	TAPA DE FONDO DE HOGAR	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	0.13	m ²	4.30
13	SOPORTES DE LA CALDERA	ANGULO ESTRUCTURAL L 2" x 1/4" ASTM A-36 X 20 PIES DE LARGO	2.2	m	22.73
14	BASE DE SOPORTE DE CALDERA	PLANCHA (ASTM A36) DE 1/2" ESPESOR X 5 PIES ANCHO X 20 PIES LARGO	0.0645	m ²	2.13
15	TUBERIA DE ENTRADA DE AGUA, SALIDA DE AGUA, Y LLENADO DE CALDERA	TUBERÍA 1" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S	0.9	m	8.15
16	TUBERIA DE DRENAJE Y VALVULA DE ALIVIO	TUBERÍA 3/4" SCH 80 A-53 GR.B TIPO S	0.45	m	5.67
17	TUBERIA DE MANOMETRO	TUBERÍA 1/2" SCH 160 A-53 GR.B TIPO S	0.1	m	0.43
18	TUBERIA DE VISOR DE NIVEL	TUBERÍA 2" SCH 40 A-53 GR.B TIPO S	0.2	m	3.31
TOTAL DE COSTO DE MATERIA PRIMA (S/.)					589.58

3.3.2. COSTO DE ACCESORIOS

La tabla 3.5 tiene el costo de la materia prima que se va requerir para fabricar la caldera, este material después va pasar por un proceso de corte y maquinado para que termine con las dimensiones finales según los planos de fabricación.

A parte de la materia prima existen otros materiales directos de fabricación que no requieren de ningún proceso de maquinado como son los accesorios que se presentan en la tabla 3.6, en el cual se presenta el costo y la cantidad de accesorios que requiere la caldera.

Tabla 3.6. Costo de accesorios

ITEM	DENOMINACION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
1	CODO SW 1" X 90°, 3000# ASTM A-105	1	15	15
2	CODO SW 3/4" X 90°, 3000# ASTM A-105	1	10	10
3	SOCKOLET 1" X 14", 3000# ASTM A-105	3	11	33
4	TAPON ROSCADO 1", 3000# ASTM A-105	3	8	24
5	TAPON ROSCADO 3/4", 3000# ASTM A-105	1	6	6
6	HALF COUPLING 1/2", 3000# ASTM A-105	1	12	12
7	VALVULA DE COMPUERTA 1"	2	90	180
8	VALVULA DE COMPUERTA 3/4"	1	70	70
9	VALVULA DE ALIVIO DE 3/4"	1	150	150
10	VISOR DE NIVEL DE AGUA DE 2"	2	40	80
11	MANOMETRO	1	80	80
12	PERNO 5/8" X 2 3/4" C/ TUERCA	8	2.5	20
13	PERNO 5/8" X 3 1/4" C/ TUERCA	8	2.5	20
14	PLANCHA PARA EMPAQUETADURAS	1	100	100
15	LANA DE FIBRA DE LANA DE VIDRIO + REVESTIMIENTO DE LATON	1	80	80
TOTAL ACCESORIOS (S/.)				880

3.3.3. COSTO DE SOLDADURA

Todos los procesos de soldadura se van a realizar con arco manual, proceso SMAW (Soldadura por arco eléctrico con electro revestido), el electrodo que se utilizara será E7018.)

3.3.3.1. CÁLCULO DE SOLDADURA:

Para determinar el costo real de soldadura se calcula la longitud de soldadura que será utilizada para la fabricación de la caldera.

En la tabla 3.7 se observa la relación de elementos que irán soldados y la longitud de soldadura que se utilizara en cada una de las juntas

Tabla 3.7 Longitud de soldadura

ITEM	ELEMENTOS A UNIR	LONGITUD DE SOLDADURA (m)
1	CHIMENEA - TAPA DE CHIMENEA	0.96
2	BRIDAS - CUERPO	4.46
3	ANILLO DE RETENCION - CUERPO	1.12
4	TUBERIA DE ENTRADA DE AGUA FRIA	0.32
5	TUBERIA DE SALIDA DE AGUA CALIENTE	0.32
6	TUBERIA DE LLENADO DE CALDERA	0.32
7	TUBERIA DE DRENAJE	0.30
8	TUBERIA DE VALVULA DE ALIVIO	0.06
9	TUBERIA DE MANOMETRO	0.08
10	BRIDA-HOGAR	2.23
11	SOPORTE DE PARRILLA - HOGAR	2.23
12	SOPORTE DE CALDERA - HOGAR	1.00
13	SOPORTE DE CALDERA- BASE DE SOPORTE	0.81
14	TUBOS DE HUMO-SOPORTE DE TUBOS	5.18
LONGITUD TOTAL DE SOLDADURA		19.39

Según la tabla 3.7 se necesitaran 19.39 m de cordón de soldadura para las juntas de la caldera.

Según procesos de unión por soldadura, para poder soldar primero debemos realizar el apuntalado, el cual fija los dos elementos a unir en la posición correcta, este apuntalado se realizara con electrodo E6011, se realizara un estimado de 148 puntos de 1cm cada uno aproximadamente.

Según recomendaciones y la experiencia de profesionales en soldadura, un electrodo cubre una superficie aproximada de 10 cm lineales. Consultando a proveedores de electrodos en Lima, podemos recopilar la siguiente información que se presenta en la tabla 3.

Tabla 3.8 Información de los electrodos a usar

ELECTRODO	PESO ELECTRODO (Kg)	PRECIO POR KG (S/.)
6011	0.034	9.5
7018	0.027	12

Con la información de las tablas 3.7 y 3.8 podemos obtener el gasto de electrodos en el cual se incurrirá para soldar los diferentes componentes de la caldera, estos gastos se presentan en la Tabla 3.9

ELECTRODO	CM DE SOLDADURA	UNIDADES DE ELECTRODO	CONSUMO EN Kg	PRECIO TOTAL (S/.)
6011	178	17.8	0.61	5.75
7018	1939	193.9	5.24	62.82
TOTAL DE GASTO EN ELECTRODOS (S/.)				68.57

Tabla 3.9 Costo de Soldadura

3.4. COSTO DE UTILIZACION DE MAQUINARIA

En la tabla 3.10 se presenta un resumen del costo en el cual se incurre por utilizar la maquinaria necesaria para fabricar la caldera.

Tabla 3.10 Costo de utilización de maquinaria

N° ACT.	PROCESO	EQUIPO UTILIZADO	TIEMPO (MIN)	COSTO HORA DE EQUIPO (S/.)	TOTAL (S/.)
1	CORTE DE BRIDAS DE ACOPLER	OXICORTE	90	2	3.00
2	CORTE DE TAPA DE CHIMENEA	OXICORTE	30	2	1.00
3	CORTE DE CUERPO	OXICORTE	40	2	1.33
4	CORTE DE HOGAR	OXICORTE	40	2	1.33
5	CORTE DE PLACA PORTA TUBOS SUPERIOR	OXICORTE	20	2	0.67
6	CORTE DE PLACA PORTA TUBOS INFERIOR	OXICORTE	30	2	1.00
7	CORTE DE ANILLO DE RETENCION	OXICORTE	15	2	0.50
8	CORTE DE ANILLO DE SOPORTE DE PARRILLA	OXICORTE	10	2	0.33
9	CORTE DE FONDO DE HOGAR	OXICORTE	15	2	0.50
10	CORTE DE BASE DE SOPORTES	OXICORTE	10	2	0.33
11	TORNEADO DE BRIDAS Y TAPA DE CHIMENEA	TORNO	15	1.5	0.38
12	TALADRADO DE BRIDAS Y TAPA DE CHIMENEA	TALADRADOR A VERTICAL	10	1	0.17
13	TALADRADO DE PLACA PORTA TUBOS	TALADRADOR A VERTICAL	10	1	0.17
14	TORNEADO DE ANILLO DE RETENCION	TORNO	20	1.5	0.50
15	SOLDADO (HAZ TUBULAR)	SOLADORA ELECTRICA	180	3	9.00
16	SOLDADO (SALIDAS Y ENTRADAS DEL CUERPO DE CALDERA)	SOLADORA ELECTRICA	120	3	6.00
17	SOLDADO (BRIDAS, TAPA DE CHIMENEA, FONDO DE CHIMENEA)	SOLADORA ELECTRICA	160	3	8.00
18	SOLDADO (ANILLO DE RETENCION,ANILLO SOPORTE)	SOLADORA ELECTRICA	60	3	3.00
19	SOLDADO(SOPORTE)	SOLADORA ELECTRICA	40	3	2.00
TOTAL DE COSTO DE UTILIZACION DE MAQUINARIA					39.21

3.5 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos en la fabricación de la caldera son aquellos costos que no son ni de mano de obra directa de fabricación (incluye alquiler de maquinaria), ni los costos de materiales directos. Los costos indirectos pueden ser el Ingeniero supervisor de la construcción, servicios básicos como agua y luz, personal administrativo, etc.

Se estimará para lo proceso de fabricación de la caldera un costo indirecto que representa el 5% del costo directo.

3.6 COSTO DE INGENIERIA Y DISEÑO

Los costos de Ingeniería y Diseño, son los costos referidos a los Honorarios de los Ingenieros que desarrollaron toda la Ingeniería. Desde la Ingeniería Básica, de Detalle, planos de fabricación, etc.

Se contempló que el desarrollo de la Ingeniería para el diseño de la caldera, debe tener una duración de dos ciclos universitarios (que son los ciclos donde se llevan los curso de proyecto de Tesis 1 y 2) y que la Ingeniería la desarrollaría un Ing. Mecánico Junior, que haría todos los cálculos, planos de fabricación, lista de materiales, etc. y un Ing. Mecánico Sénior que apoyaría al Ing. Junior, brindándole soporte cuando lo requiera y supervisando el desarrollo del proyecto

Tabla 3.11 Costo de Ingeniería y Diseño

PERSONAL	HORAS DE DEDICACIÓN/DIA	DIAS DE DEDICACIÓN/MES	MESES DE DURACIÓN DEL PROYECTO	COSTO / HORA (S/.)	COSTO TOTAL DE HONORARIOS
ING. MECANICO JUNIOR	6	20	10	14	16,800
ING. MECANICO SENIOR	2	4	10	62.5	5,000
COSTO TOTAL DE INGENIERIA Y DISEÑO (S/.)					21,800

Como se puede observar el costo de la Ingeniería es de S/ 21,800, costo el cual debe cargarse a las calderas de calefacción que uno se proyecta van a vender, si nos proyectamos a vender 100 calderas, tendríamos que cargarle a cada una S/. 218 y si nos proyectamos a vender 200, se debería cargar S/. 109.

En nuestro caso y para el cálculo del costo total de la Caldera, nosotros nos proyectamos a que venderemos 200 calderas de calefacción.

3.7 COSTO TOTAL PARA CONSTRUIR LA CALDERA DE CALEFACCION

Con todos los costos directos e indirectos debidamente identificados podemos saber el costo total aproximado para fabricar una caldera de combustión, este costo se presenta en la tabla 3.12

Tabla 3.12 Costo total para fabricar una caldera

DENOMINACION	CANTIDAD (S/.)
COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	318.90
COSTO DE MATERIALES	589.58
COSTO DE ACCESORIOS	880.00
COSTO DE SOLDADURA	68.57
COSTO DE UTILIZACION DE MAQUINARIA	39.21
COSTOS INDIRECTOS	94.81
COSTO DE INGENIERIA	109.00
TOTAL (S/.)	2,100.07

Entonces redondeando, el costo total de la caldera es de S/. 2100, este costo puede ser algo elevado comparando con calentadores de agua que se venden en el mercado peruano, pero el costo de la caldera va ir reduciéndose de manera considerable a medida que se construyan y vendan en gran cantidad estas calderas de calefacción, ya que los costos de materia prima (tuberías, planchas de acero, barras, ángulos, etc.), se reducen a cuanto mayor es el volumen que se compra de estos.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones de fabricación

- La caldera se dividirá en cuatro partes principales que son la chimenea, la coraza, el haz tubular y la cámara de combustión. Se recomienda primero empezar con la fabricación de los componentes individuales de la caldera (cortar las diferentes tuberías, planchas de acero, etc.), y empezar a construir las diferentes partes de la caldera.
- Para las uniones soldadas como son las bridas con la coraza, las ramificaciones de la caldera, la chimenea, haz tubular, etc. Nos basaremos en la norma internacional ASME la cual nos brinda recomendaciones de cordones de soldadura (Anexo 17)
- Una vez que tenemos las partes principales de la caldera ya fabricadas, se procede colocar el haz tubular dentro de la coraza de la caldera, el haz tubular ingresará a la coraza por la parte inferior, y se deslizará por esta hasta que tope la placa porta tubos superior con el anillo de retención, se procede después a ensamblar la coraza (ya con el haz tubular dentro) con la cámara de combustión estos se unirán por medio de las bridas de ensamble (la brida inferior de la coraza y la brida superior de la cámara de combustión), finalmente se procede a ensamblar la chimenea, esto se hace por medio de una unión bridada (la brida superior de la coraza y la brida de la chimenea).
- Finalmente una vez se ha verificado la hermeticidad de las uniones con la prueba hidrostática, se procede a colocar el aislamiento térmico.

Recomendaciones de utilización de la caldera para el Usuario

- Se debe montar la caldera de calefacción en un terreno en lo posible firme y en una ubicación en la cual el viento favorezca la evacuación de los gases de combustión.
- Se procede a llenar la caldera con agua, esta ingresará por la tubería del sistema de llenado de agua, y se debe llenar la caldera hasta que el agua cubra totalmente la el visor de nivel inferior y se pueda ver el nivel de agua en por debajo de la mitad del visor de nivel superior.

- Si el agua cubre totalmente el visor de nivel superior se debe proceder a vaciar la caldera por medio del sistema de drenaje de la caldera, hasta que el nivel del agua este por debajo de la mitad aproximada del visor de nivel.
- Verificar regularmente que el agua de la caldera este dentro del rango del visor de nivel inferior y superior, y llenar de agua o drenar, dependiendo de la situación que se presente.
- Se deben colocar 4 kg aproximadamente de bosta cada hora en la parrilla de combustión, en lo posible esparcirlo de manera uniforme a lo largo de toda la parrilla y encenderlo con un fosforo u otro medio que pueda generar una llama el tiempo suficiente para que empiece la combustión de la bosta.

Recomendaciones de Mantenimiento

- La caldera está diseñada para tener una vida útil promedio de 8 años, uno de los factores que determinara la vida útil de la caldera será un adecuado mantenimiento regular.
- Se recomienda realizar mantenimiento a la caldera por lo menos una vez al año, este mantenimiento consiste principalmente en: desmontar la caldera por la parte superior y verificar el estado de los tubos de Humo, que no tengan ningún tipo de obstrucción y verificar la integridad de las tuberías, retirar el haz de tubos y verificar la integridad del interior de la coraza.
- Cuando deje de usarse la caldera retirar todas las cenizas y restos de combustión de la bosta que puedan quedar en la parrilla de combustión y limpiarla, esto hará que la integridad de la parrilla de combustión se mantenga, ya que la ceniza y los desechos de la combustión de la bosta pueden corroer la parrilla de combustión.
- Verificar siempre antes de poner en funcionamiento la caldera que los agujeros de de ingreso de aire de la cámara de combustión no estén obstruidos, para que de esta manera la cama de combustión tenga el aire suficiente para una combustión adecuada.

- Verificar siempre antes de poner en funcionamiento la caldera que la chimenea esté libre de obstrucciones para que de esta manera los gases producto de la combustión puedan evacuar de manera correcta.
- Se recomienda realizar un estudio de la corrosión del acero por efecto de los gases productos de combustión de la bosta, para poder determinar de una manera mucho más exacta el tiempo de vida útil de la caldera.



CONCLUSIONES

1. Se determinó que para una vivienda típica del sector rural de 48m²de área se necesita un requerimiento energético de 11.2 kW para mantenerla a una temperatura interior de 18°C.
2. La caldera vacía tendrá un peso de 195 kg, y se llenará con 55 lt de agua aproximadamente para su funcionamiento.
3. La caldera necesitara para su correcto funcionamiento un promedio de 4 kg/h de bosta.
4. La caldera diseñada tiene un diámetro de cuerpo de 14" y una altura de extremo a extremo de 4 m, contará con tubos de humo de material acero A-53, la coraza y la cámara de combustión estarán construido en material acero A-36.
5. El haz tubular de la caldera estará conformada por 25 tubos de humo de 1" sch80 de diámetro de una longitud de 1.20 m.
6. La evacuación de los gases de combustión será por medio de una chimenea de 2" de diámetro y 2 m de longitud y serán expulsados a una velocidad de 6 m/s a 1 m por encima de la vivienda.
7. Se realizo un análisis económico del costo de la caldera donde están incluidos los costos de los materiales, accesorios, fabricación e ingeniería dando como resultado un costo de caldera de S/. 2100 aprox.

BIBLIOGRAFIA

1. CARE Perú, Confort térmico en viviendas alto andinas...un enfoque integral. Lima 09 de Junio de 2010
2. Grupo de apoyo al sector Rural PUCP, Construcción de una cocina mejorada.
3. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, Manual para construcción de “calefacción ecológica”. Lima 2005
4. Andrés y Rodríguez-Pomatta, Juan A. de, Calefacción y agua caliente sanitaria. Madrid : A.M. Vicente, 1991
5. Ing. José Huapaya Barrietos, Curso de Generadores de Vapor, UNI 2008.
6. Anthony L. Kohan, Manual de calderas (4ta ed). Mc Graw-Hill, 2000.
7. Mesny Marcelo, Calderas de vapor: manual del foguista. Buenos Aires : Marymar, 1981
8. Sitio Aislo. <http://www.aislo.com/factor-k-2>
9. Postigo Jaime y Cruz F. Juan, Termodinámica aplicada II. Lima: W.H. Editores, 2010.
10. Yunus Cengel, Heat and mass transfer: fundamentals & applications. New York: McGraw-Hill, c2011.
11. Jorge Rodriguez, Resistencia de Materiales 2. PUCP: 2008
12. Eurocodigo, Eurocodigo 3: Uniones Soldadas.
13. ASME, código ASME sección IV. 2012
14. ASME, código ASME sección II, parte D. 2012
15. Kanti K Mahajan, Desing of Process Equipment (2da Ed).
16. Catálogo de Válvulas de Alivio Cash Acme.
17. Página Hecapo. <http://www.hecapo.com/web/producto.php?idP=1901>
18. Página Aisla Perú. http://www.aislaperu.com/detalles_productos.php?id_prod=16
19. Eugene F. Megyesy. Manual de Recipientes a presión. México: Noriega Editores,1983.