



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

DISEÑO DE UNA CALDERA PIROACUOTUBULAR (MIXTA) PARA LA
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA
GENERACIÓN SIMULTÁNEA DE AGUA CALIENTE Y VAPOR DE AGUA

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo

Sostenible

Autor:

Aguilar Vizcarra, Duilio Leoncio

Asesora:

Esenarro Vargas, Doris

(ORCID: 0000-0002-7186-9614)

Jurado:

Rodriguez Rodriguez, Ciro

Tafur Anzualdo, Vicenta Irene

Jave Nakayo, Jorge Leonardo

Lima - Perú

2023



Reporte de Análisis de Similitud

Archivo:

[1A_AGUILAR_VIZCARRA_DUILIO_LEONCIO_DOCTORADO_2023.docx](#)

Fecha del Análisis:

8/02/2023

Analizado por:

Astete Llerena, Johnny Tomas

Correo del analista:

jastete@unfv.edu.pe

Porcentaje:

11 %

Título:

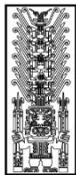
DISEÑO DE UNA CALDERA PIROACUOTUBULAR (MIXTA) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA GENERACIÓN SIMULTÁNEA DE AGUA CALIENTE Y VAPOR DE AGUA

Enlace:

<https://secure.arkund.com/old/view/151033296-572914-862168#Dcg7bgJREAXRvUxcQv3vfmwFEVjltiaAhBB5735J6d7zOZ7v43oTFN3ZNdTRQBMttNFBF4YJptgeigWWWGGNDbZwwRU33PHAEy+88cEXQQihhBFO7JtEEUOMsUhSSCWNdDLILUOUuShKKKWMcigopDY2NdSiaaGVNtrpoJMuevvQi2Gx8s7xPn9f58/5+Ho9vo+rXFTSpkTFRdxy6u8f>



DRA. MIRIAM ELIANA FLORES CORONADO
JEFA DE GRADOS Y GESTIÓN DEL EGRESADO



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

DISEÑO DE UNA CALDERA PIROACUOTUBULAR (MIXTA) PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA GENERACIÓN SIMULTÁNEA DE AGUA CALIENTE Y VAPOR DE AGUA

Línea de investigación:

Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el grado académico de
Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Autor:

Aguilar Vizcarra, Duilio Leoncio

Asesora:

Esenarro Vargas, Doris

(ORCID: 0000-0002-7186-9614)

Jurado:

Ciro Rodriguez Rodriguez

Vicenta Irene Tafur Anzualdo

Jorge Leonardo Jave Nakayo

Lima – Perú

2023

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRAC	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.2 Descripción del problema.....	22
1.3 Formulación del Problema	26
– <i>Problema general</i>	27
– <i>Problemas específicos</i>	27
1.4 Antecedentes	27
1.5 Justificación de la investigación.....	40
1.6 Limitaciones de la investigación	43
1.7 Objetivos	44
– <i>Objetivo general</i>	44
– <i>Objetivos específicos</i>	44
1.8 Hipótesis.....	44
II. MARCO TEÓRICO	46
2.1 Marco conceptual	46
III. MÉTODO.....	85
3.1 Tipo de investigación	85
3.2 Población y muestra	86

3.3	Operacionalización de variables.....	86
3.4	Instrumentos	87
3.5	Procedimientos	88
3.6	Análisis de datos.....	88
IV.	RESULTADOS	114
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	148
VI.	CONCLUSIONES	156
VII.	RECOMENDACIONES	158
VIII.	REFERENCIAS	159
IX.	ANEXOS	164
	Anexo A	164
	Anexo B.....	165
	Anexo C.....	165
	Anexo D	171
	Anexo E.....	172
	Anexo F.....	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01	33
Tabla 02	87
Tabla 03	87
Tabla 04	102
Tabla 05	118
Tabla 06	121
Tabla 07	124
Tabla 08	130
Tabla 09	132
Tabla 10	139
Tabla 11	141
Tabla 12	142
Tabla 13	147
Tabla 14	147
Tabla 15	152
Tabla 16	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01.....	13
Figura 02.....	46
Figura 03.....	47
Figura 04.....	48
Figura 05.....	48
Figura 06.....	50
Figura 07.....	51
Figura 08.....	51
Figura 09.....	52
Figura 10.....	53
Figura 11.....	60
Figura 12.....	68
Figura 13.....	72
Figura 14.....	73
Figura 15.....	74
Figura 16.....	75
Figura 17.....	78
Figura 18.....	88
Figura 19.....	93

Figura 20.....	96
Figura 21.....	98
Figura 22.....	99
Figura 23.....	100
Figura 24.....	103
Figura 25.....	106
Figura 26.....	110
Figura 27.....	110
Figura 28.....	111
Figura 29.....	111
Figura 30.....	115
Figura 31.....	118
Figura 32.....	122
Figura 33.....	123
Figura 34.....	127
Figura 35.....	130
Figura 36.....	153

ÍNDICE DE SIMBOLOGÍAS

Ac	Área exterior del cilindro de la cámara
Abc	Área de la base circular
A cilindro interior	Área cilindro exterior
At	Área total
Φ	Diámetro
e	Espesor
h	Altura
mi	Masa de la cámara de agua
V	Volumen
Q	Calor en la cámara de combustión
Cp	Calor específico de acero
Tfm	Tiempo final anterior de iniciar el cambio de fase
Tim	Tiempo inicial del metal
Ttag	Tiempo final del agua al inicio del cambio de fase
Tiag	Tiempo inicial del agua
Qt2	Calor total para calentar en la cámara de agua
mi	Masa de la sección a calcular
π	3.15 Pi, factor de conversión circular
d	Diámetro del cilindro circular
h	Altura del cilindro vertical
e	Espesor de la plancha metálica
ρ	Densidad del material (plancha metálica)
$\sum mi$	Masa total
Vt	Volumen total
VD	Volumen de domo
Q1	Cantidad de calor necesario para calentar la masa metálica
m1	Masa metálica del acero al carbono a calentar
Cp	Calor específico del acero
Tfm	Temperatura final del metal
QT2	calor total
mc	Masa de combustible

T	Tiempo
QA	Calor aprovechado
tim	Temperatura inicial
MT	Masa total
Qi	Calor necesario para calentar
Q subtotal	Calor subtotal
Q total	Calor total
η combustión	Eficiencia de combustión
Q teórico agua	Flujo calor teórico
η térmica	Eficiencia térmica
CO ₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
%e	Exceso de aire
N, mm	Fuerza
kg	Masa
s, h	Tiempo
Pa, MPa	Estrés, presión
J, kJ	Energía, trabajo, cantidad de calor.
Kg/m ³	Densidad
kW	Energía
Do	Diámetro exterior
t	Espesor de la placa
L	Longitud de la cámara de encendido en la zona de la cámara de agua
A	Factor de cálculo (adimensional)
R	Radio del cilindro (variable)
t	El espesor de la placa.
P	Presión interna de la caldera
Pe	Presión externa
B	Coefficiente resultante de unir el factor A y la temperatura de calentamiento.
e1, e7	Espesor de la placa

S	Esfuerzo de fluencia del material, esfuerzo material admisible
E	Eficiencia de la junta soldada
P	Presión interna soportada por el recipiente (0,758 MPa).
T	Espesor de la placa del domo
D	Diámetro de la cúpula
M_{total}	Cámara de combustión de masa de agua, cámara de agua, cúpula, masa metálica
CVF	Valor calorífico del combustible
$\dot{Q}_{theoretical}$	Calor teórico requerido
η_{cc}	Eficiencia de combustión
$\dot{Q}, Q_{total\ real}$	Calor total
\dot{m}_c	Caudal Masa de combustible
\dot{Q}_A	Calor necesario para el cambio de fase
Q_i	Calor necesario para calentar el nuevo volumen de agua en el domo
$\dot{Q}_{sub\ total}$	Calor necesario para calentar agua
\dot{Q}_{total}	Calor total requerido para calentar agua y generar vapor
V_i	Volumen interno de la cámara de vapor
$\dot{m}_{comb\ real}$	Masa de combustible real
$\eta_{combustion}$	Eficiencia de combustión
\dot{Q}_A	Calor entregado para generar vapor
$r_{a/c\ real}$	Relación aire-combustible real
$r_{a/teorico}$	Relación aire-combustible teórica
$\%e$	Porcentaje de exceso de aire
$^{\circ}C$	La temperatura

RESUMEN

La protección del medio ambiente es un desafío continuo que requiere innovar el proceso de combustión de las calderas que emiten gases contaminantes. Esta investigación propone un diseño novedoso de caldera piro acuotubular (mixta) que reduce la emisión de gases de combustión por agua caliente y vapor de agua. La metodología aplicada considera el dimensionamiento-construcción, modificación y cálculo analítico del volumen de agua, masas metálicas, calor para generación de agua caliente y vapor de agua, así como los gases de combustión emitidos. Se aplica el método de transferencia de calor de Ganapaty para priorizar la velocidad de desplazamiento del gas, la caída de presión a lo largo de la tubería y su aplicación en superficies. También consumos de combustibles y emisiones de gases de combustión y cantidad de carbón al medio ambiente para las cuatro opciones posibles de generación de agua caliente y vapor de agua. En la generación paralela de agua caliente y vapor de agua se obtuvo una masa de CO₂ (1 782,72 kg/h) y CO (5,48 kg/h); estas masas se compararon con los resultados del diseño propuesto, obteniendo una reducción de la masa de gases emitidos al medio ambiente en agua caliente CO₂ (44,35%) y CO (44,27%); vapor CO₂ (55,65%) y CO (55,66%). Se logró una reducción significativa en la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua respecto a la generación individual y generación en paralelo, también en los cálculos se compara la cantidad de carbón que se emite al generar ambos tipos de fluidos en forma simultánea al ambiente respecto de una cantidad de carbón en paralelo por dos unidades de las mismas características reduciendo la cantidad de carbón en 55.64% lo que demuestra que la generación simultánea de la caldera piro acuotubular (mixta) reduce la emisión de gases de combustión.

Palabras clave: caldera piro acuotubular, gases de combustión, gases contaminantes, CO₂, CO, contaminación ambiental.

ABSTRACT

The protection of the environment is a continuous challenge that requires innovating the combustion process of boilers that emit contaminant gases. This investigation proposes a new design of pyro-acuotubular caldera (mixed) that reduces the emission of combustion gases by hot water and water vapor. The methodology applied considers the dimensioning-construction, modification and analytical calculation of the volume of water, metallic masses, heat for the generation of warm water and water vapor, as well as the emitted combustion gases. Ganapaty's heat transfer method is applied to prioritize the speed of gas displacement, the pressure drop along the pipe and its application on surfaces. Also fuel consumption and combustion gas emissions and amount of carbon in the environment for the four possible options for generating hot water and steam. In the parallel generation of hot water and steam, a mass of CO₂ (1 782.72 kg/h) and CO (5.48 kg/h) was obtained; these masses were compared with the results of the proposed design, obtaining a reduction in the mass of gases emitted into the environment in hot water CO₂ (44.35%) and CO (44.27%); steam CO₂ (55.65%) and CO (55.66%). A significant reduction was achieved in the simultaneous generation of hot water and steam with respect to individual generation and generation in parallel, also in the calculations, the amount of carbon that is emitted when generating both types of fluids simultaneously to the environment is compared. With respect to an amount of coal in parallel by two units of the same characteristics, reducing the amount of coal by 55.64%, which shows that the simultaneous generation of the fire-tube boiler (mixed) reduces the emission of combustion gases.

Keywords: fire-tube boiler, combustion gases, polluting gases, CO₂, CO, environmental pollution.

I. INTRODUCCIÓN

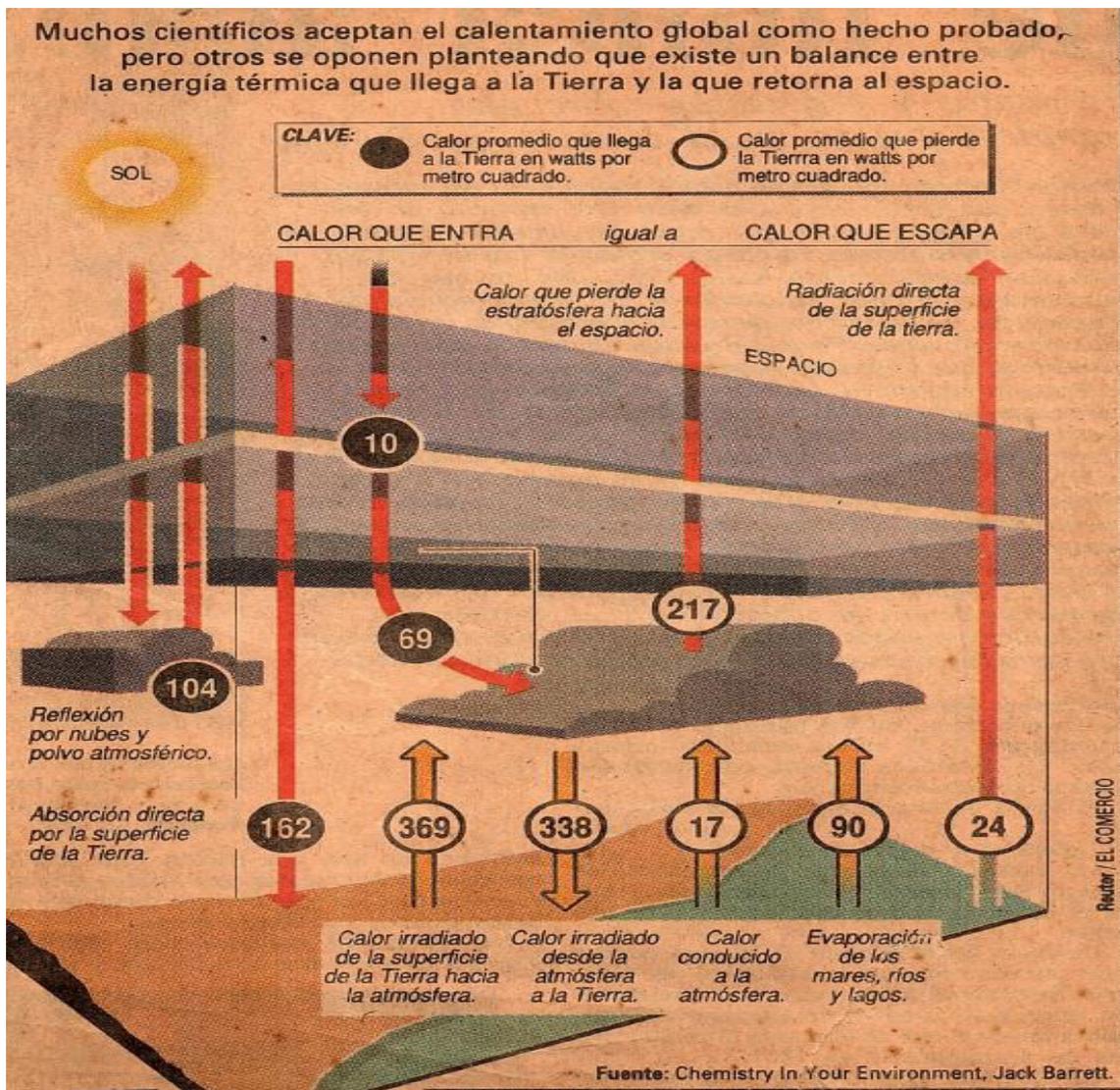
La necesidad de preservar nuestro planeta, actualmente en peligro por los efectos que resultan de la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación ambiental, ha originado que los países con mayor desarrollo tecnológico en el mundo, incorporados en la Organización de las Naciones Unidas se pongan de acuerdo para desarrollar una serie de acuerdos y protocolos sobre la Contaminación de la atmósfera transfronteriza a larga distancia denominada lluvia ácida, (Convenio de Ginebra 1982) sobre la protección de la capa de ozono, (Convenio de Viena 1985 y Protocolo de Montreal 1987), que tratan sobre la limitación de gases de efecto invernadero, (Protocolo de Kioto 1995 y Agenda 2030) y el acuerdo de Glasgow (2022); todos orientados a implementar políticas de preservación y protección del medio ambiente, así mismo estas políticas también consideran, la preservación de la vida de las diversas especies que cohabitan en nuestra planeta, cuyo rol en el ciclo de vida es muy importante, especialmente el ser humano, así como el desarrollo sostenible

En el marco de las políticas medio ambientales la Agenda del 2030 es muy importante porque en ella se definen claramente los objetivos conducentes a la conservación del medio ambiente así como las políticas a implementar y desarrollar en el campo económico, social y ambiental como paradigmas para el desarrollo sostenible, esto necesariamente implica desarrollar e innovar técnicas que contribuyan al desarrollo y preservación de la ecología como una de las mayores exigencias para reducir la velocidad en la contaminación por causa de los gases de efecto invernadero, por tener estos incidencia directa sobre los deshielos, la reducción del agua disponible para el consumo humano, el riego en la agricultura, el incremento del nivel de mar y su temperatura; así como también el incremento de la temperatura medio ambiental.

La siguiente figura muestra la influencia de los gases de efecto invernadero sobre el medio ambiente afectando la sostenibilidad, el impacto ambiental y sus consecuencias.

Figura 01

Equilibrio energético global



Nota: Chemistry In Your Enviroment por Jack Barret.

Está clara la necesidad de preservar el medio ambiente para la supervivencia de la vida en sus diversas formas y por tanto se requiere un equilibrio térmico en el planeta para reducir el calentamiento global, que considera a la energía como un factor determinante, así como la evaporación del agua desde sus diversas fuentes por efectos térmicos, para lo cual es necesario considerar un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos tratando de aprovechar al máximo su aporte con la intención de reducir la temperatura de los gases emitidos al ambiente

y reducir la cantidad de carbón combinado como CO_2 y CO así como los efectos radioactivos, que se observa en la figura anterior.

Por tanto es necesario identificar las causas que originan uno de los mayores causantes de este problema, resultando identificarse al CO_2 (Dióxido de Carbono) y el CO (Monóxido de Carbono) como los mayores perturbadores ambientales sin dejar de mencionar al Nitrógeno que reaccionando en la forma NO_x a partir de ciertas temperaturas es también un perturbador del medio ambiente de allí que muchos fabricantes de equipos llamados quemadores desarrollan técnicas que conduzcan a minimizar su presencia en los procesos de combustión proveniente de combustible fósiles.

Históricamente la combustión descubierta por el hombre de forma casual permitió que con el transcurrir del tiempo logre mejorar su calidad de vida y en su permanente búsqueda de mejora continua, descubra los combustibles sólidos como el carbón y con el transcurrir del tiempo y en su permanente investigación descubra la existencia de los hidrocarburos líquidos y gaseosos, siendo limpiados, procesados y luego ofrecidos a las diversas sociedades científicas y técnicas para su desarrollo, y su aplicación en diversos tipos de máquinas térmicas, llámese así a aquellas que a partir de un proceso de combustión generan calor y energía para su aprovechamiento en diversas formas.

Una de estas formas es la combustión en calderas que pueden generar agua caliente, vapor de agua, aceite térmico a ciertas temperaturas, cada uno de estos producidos individualmente en función de las necesidades del proceso industrial que lo requiera, consumiendo carbón, petróleo en sus diferentes tipos, Gas Licuado de Petróleo y Gas Natural según el tipo y diseño de caldera.

Precisamente al tratar sobre aspectos relacionados al diseño de calderas es necesario precisar que por el tipo de diseño y arreglo de tubos la gran clasificación según la ABMA precisa que pueden ser de tubos de agua o acuotubulares y de tubos de fuego o piro tubulares

cada uno de estos dos tipos de caldera tienen aplicaciones específicas como es el caso de las acuotubulares diseñadas y construidas para generar grandes cantidades de vapor de agua y elevadas presiones con aplicación preferente en centrales de generación eléctrica, por otro lado las calderas pirotubulares son utilizadas en procesos térmicos industriales que no requieren presiones elevadas y como resultado la temperatura del vapor en valores que no sean muy elevados

En el contexto de las calderas pirotubulares, estas, se pueden diseñar y construir horizontales y verticales, también los fabricantes las diseñan y construyen según el Numero de recorridos de los gases de combustión a través de la superficie de transferencia de calor en uno, dos, tres y cuatro pasos de gases. En el caso de calderas verticales lo frecuente es encontrar calderas de uno y dos pasos de gases, que como consecuencia entregan al medio ambiente gases de combustión con elevadas temperaturas, siendo necesario remarcar que pueden producir solo agua caliente o vapor de agua según se haya definido su construcción previamente, lo cual implica que en caso de tener la necesidad de ambos fluidos se tenga la necesidad de tener dos unidades en paralelo generando ambos fluidos o se tenga que efectuar algún tipo de sobredimensionamiento que permita mediante un arreglo ó una solución técnica, originando un mayor consumo de combustible y por tanto una mayor cantidad de gases de efecto invernadero al ambiente.

Diseñar y construir a futuro una caldera que genere simultáneamente agua caliente y vapor de agua simultáneamente en una caldera significará un menor consumo de combustible, tener al mismo tiempo menor costo de operación y economía de espacio, con este tipo de caldera, así como menor cantidad de gases de efecto invernadero emitidos al ambiente y disminución de la contaminación ambiental que para los fines de mejorar las condiciones climáticas referidas al efecto invernadero y el desarrollo sostenible resultan muy convenientes, debido a que uno de los objetivos de la agenda 2030 es la reducción en la emisión de CO₂ y CO

que debe efectuarse a través de la descarbonización y para ello es necesario desarrollar nuevas tecnologías como es el presente trabajo de investigación que constituye una innovación tecnológica.

En el presente trabajo en el primer capítulo se trata los aspectos metodológicos relacionados con el planteamiento del problema en el que se trata sobre los elementos contaminantes que afectan al medio ambiente alterando como son los gases de efecto invernadero y como los gases de los diversos procesos industriales tienen relación directa con la contaminación ambiental y que simultáneamente afectan el desarrollo sostenible y también como la ausencia de políticas ambientales forman parte del problema a nivel mundial como a nivel nacional a pesar de los convenios internacionales firmados por los países del planeta. También se formula el problema general y específicos, continuando con los antecedentes bibliográficos, en primer orden los internacionales y a continuación los nacionales, es preciso mencionar que por ser el presente trabajo una innovación tecnológica la bibliografía al respecto no está disponible, solo aspectos relacionados de alguna forma, también se trata de la justificación, importancia y limitaciones de la investigación así como los objetivos e hipótesis consideradas para el desarrollo de la investigación en el presente trabajo.

En el segundo capítulo se trata sobre las bases teóricas, el marco conceptual y el marco filosófico, las normas técnicas para el diseño de calderas, aspecto sobre el desarrollo sostenible y teorías referidas al desarrollo sostenible, así como criterios para el diseño de calderas y también métodos para el cálculo de la eficiencia de calderas.

En el tercer capítulo se trata lo relacionado con el método de la investigación; en este se trata sobre el tipo de investigación caracterizándola según lo definen diferentes autores, así como el nivel de la investigación y también se caracteriza el diseño de la investigación, menciona lo relacionado a la población y muestra, la operacionalización de las variables, los

instrumentos empleados, el procedimiento seguido y el análisis de datos a partir de los cuales se realizó la investigación.

El cuarto capítulo trata sobre el diseño y dimensionado de la caldera piro acuotubular, donde se efectúa toda la descripción del diseño de la caldera iniciando este con la cámara de combustión y sus componentes como son la cámara de encendido u hogar la zona de acceso del quemador y el sector en el cual se encuentra el agua que circulará rodeando a la cámara de encendido u hogar en proceso de calentamiento, ingresando y saliendo de la misma. También se describe la conformación de la cámara de agua en sus dos partes internas que conforman un solo bloque a través del cual circulan los gases calientes en tres recorridos y el agua en proceso de calentamiento hasta llegar al domo hasta cierto nivel y a partir de ese nivel se transformará en vapor, de esta manera instalado y encendido el quemador y al mismo tiempo suministrado el agua en la cámara de combustión y en la cámara de agua se produce la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua, es necesario mencionar que externamente la caldera tiene un aislamiento térmico que evita pérdidas innecesarias de calor. Así mismo en este capítulo se efectúan todos los cálculos que conducen a dimensionar la caldera en sus diferentes partes y espesores de planchas que mediante el proceso de construcción descrito se efectúe la construcción de la caldera.

En el quinto capítulo se efectúan los cálculos relacionados a determinar la cantidad de calor necesario a entregar y la cantidad de gases y carbón que se emiten al medio ambiente; el proceso de cálculo empieza por determinar la cantidad de masa metálica de las partes que se compone de la caldera así como del agua contenida en su interior, a continuación se calcula la cantidad de calor necesario para calentar la masa metálica el agua contenida y el calor necesario para generar vapor de agua, todos estos calores se calculan finalmente como flujo de calor para generar agua caliente y vapor de agua simultáneamente. A continuación, se efectúan los cálculos necesarios para la reacción química de combustión efectuando el balance

correspondiente, desde la cantidad de combustible consumido y se determina la cantidad de gases de combustión generados (CO_2 y CO) así como la cantidad de Carbón emitido por hora, por mes y por año. Así mismo se efectúa una comparación de las emisiones mencionadas y se efectúa una comparación de la caldera operando cuando genera solo agua caliente, solo vapor de agua, dos unidades operando en paralelo generando agua caliente y vapor de agua y una última opción de la caldera operando y generando simultáneamente agua caliente y vapor de agua para lo cual se muestran los cuadros comparativos correspondientes.

En el Sexto capítulo se trata sobre la contrastación de hipótesis y allí se establece que si es posible desarrollar una caldera que genere simultáneamente agua caliente y vapor de agua reduciendo la cantidad de gases que se emiten al ambiente y también la cantidad de carbón que se emite y de esta forma se reduce el impacto ambiental y se contribuye al desarrollo sostenible, así como el menor consumo de energía (combustible) y también la disminución de la temperatura de gases emitidos, cuyos valores en el cálculo realizado son concluyentes. También se trata la discusión de resultados en donde se determina que es posible efectuar nuevos diseños de calderas mediante la modificación o un nuevo diseño de caldera mediante una propuesta innovadora que es el presente caso. También se evalúa el impacto ambiental y la sostenibilidad y en ambos casos se establece que la propuesta de una nueva caldera contribuye al desarrollo sostenible y se encuentra dentro de los requerimientos de la Agenda 2030.

Finalmente, en el Capítulo Siete se establecen las conclusiones en las que se menciona lo favorable que resulta al Desarrollo Sostenible la propuesta innovadora del diseño de una caldera para la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua al comparar las emisiones de gases de efecto invernadero y carbón emitidos al medio ambiente con las diversas opciones de generación individual, generación paralela de agua caliente y vapor de agua

1.1 Planteamiento del problema

La contaminación ambiental producto de la emisión de gases de efecto invernadero dentro de ellos los gases de combustión y la temperatura de los mismos inciden en forma negativa en el ambiente generando contaminación ambiental y contribuyendo al efecto invernadero por presencia del dióxido de carbono. Por lo general, esta contaminación es generada por los procesos industriales que utilizan hidrocarburos, por ejemplo, las calderas, los cuales incrementan el AQI (Air Quality Index), que considera un índice entre 75 y 100 para un ambiente con contaminación (Nigam et al., 2016).

Entre las fuentes más comunes de emisores de contaminantes lanzados al medio ambiente, podemos citar a los motores de combustión de diverso tipo, los cuales son utilizados ampliamente en la industria, como la farmacéutica, agroindustria, textil, pesquera, fabricante de llantas, petroleras, centrales térmicas de generación eléctrica, específicamente se presenta un estudio de lo perjudicial que puede ser utilizar un motor de combustión diésel estacionario, señalando en esos casos, los efectos que estos pueden causar al medio ambiente. Además, se menciona en este trabajo diferentes planes de control para la calidad de aire aplicados en diferentes países, señalando el equipamiento que debe considerarse, para eliminar los aspectos negativos ocasionados en la calidad del agua atmósfera y el suelo (Font y Hernandez, 2011).

Por otro lado, podemos identificar que el CO₂, es un factor clave en el cambio climático, los cuales son promovidos por el uso de los combustibles fósiles, los sistemas forestales pueden absorber carbono siendo la biomasa una alternativa interesante para mitigar el problema del cambio climático. Se estimó una equivalencia de 718 kg CO₂ por persona y por año, en la ciudad de Ibagué, Colombia, a partir de las estaciones de servicio de combustibles por cada tipo de combustible (gasolina, diésel y gas natural) los cuales son generados por vehículos pequeños (Castañeda et al., 2017).

Actualmente, se observa un crecimiento del desarrollo de tecnología dedicada al control de emisiones de gases contaminantes. Esta tecnología impone sistemas electrónicos que ayudan

a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero. Siendo los vehículos y equipos como calderas implementadas con estos equipos electrónicos de control. También se menciona que este tipo de sistemas electrónicos ayudan a la industria automotriz a reducir la emisión de gases contaminantes, siendo a futuro el uso de vehículos conocidos como híbridos, para ayudar de esta forma al técnico especializado o usuario a determinar que estos gases no sobrepasen los estándares establecidos (Pérez, 2018).

En el Perú, se observa que el sector industrial manufacturero de mediana y pequeña empresa requiere equipos sofisticados, que no solo sean eficientes, y también que contribuyan a la sostenibilidad, pero debido a sus capacidades económicas limitadas esto no siempre es posible. Por otro lado, la sostenibilidad en este sector es producto de una continua investigación, que, para el caso de calderas industriales, es poco explorado, observándose equipos que generan una gran emisión de gases al medio ambiente, elevado consumo de combustibles, sobredimensionamientos de calderas y equipos adicionales para generar agua caliente o vapor, entre otros aspectos (Aguilar, 2019)

En su artículo sobre colectores solares el autor identifica que la generación de vapor es parte de los procesos industriales, buscando mejorar la eficiencia en la obtención del vapor. Para tal fin, en este trabajo se señala la necesidad de utilizar sistemas complementarios a los empleados para la generación de vapor que no consuman combustibles. La propuesta establecida menciona el uso de colectores solares para aumentar la temperatura del agua de alimentación del generador de vapor. Complementariamente, se realizó un análisis de factibilidad que observó el alto costo de la implementación de estos sistemas complementarios, pero que según este trabajo son necesarios para evidenciar el enfoque sostenible, porque si no serán necesarios equipos adicionales para generar este vapor (Jiménez et al., 2015).

Considerando el caso de equipos adicionales que necesitan las industrias con calderas para generar agua caliente o vapor, estos originan pérdidas de tiempos de producción, costos

de mano de obra adicional, mayores costos de mantenimiento y costos en inversión. También, se menciona que estos equipos debido a la deficiencia en sus respectivos procesos generan emisiones de gases contaminantes, lo cual aporta a la contaminación del medio ambiente. Así mismo, genera un costo adicional que muchas veces los sectores industriales no son capaces de poder sustentar. Por los problemas observados en este sector, se menciona que son necesarios diseños innovadores y políticas ambientales para una mejor regulación de la contaminación del medio ambiente (Aguilar, 2019).

La ausencia de políticas e instrumentos de control como política ambiental o incentivos es un problema que afecta a muchos países de Latinoamérica, verificando esta información y señalando algunos instrumentos implementados directamente con fines ambientales, a seguir mencionamos estas directivas implementadas por (Borregaard y Leal, 2002) como se muestra a continuación:

- Sistema de compensación por emisiones de material particulado en la Región Metropolitana.
- Las cuotas individuales transferibles de pesca.
- Eco etiquetaje y certificación, sello ozono.
- Incentivos para la protección de la capa de ozono.
- Sistemas de incentivos financieros para la inversión de tecnologías limpias.

El Planeamiento Estratégico que considera el enfoque territorial de un país como el Perú para acceder a OCDE tiene un enfoque de resultados que le exigen al país El Plan Estratégico de Desarrollo Nacional, entre otros, el aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica, un ambiente saludable y gestión de recursos hídricos, considera que las políticas ambientales y sostenibles deben ser prioritarios, también considera que para consolidar el sistema económico productivo se deben aprovechar sosteniblemente los recursos propios y externos, dentro de un

plan de crecimiento económico sostenido. Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN, 2016).

Es importante mencionar que en la revisión de las diversas tecnologías de fabricantes de calderas no se ha encontrado en los diversos países, calderas que generen simultáneamente agua caliente y vapor como producto final que oferten en el mercado de usuarios.

A continuación, es presentado el desarrollo de esta investigación, describiendo la problemática, la formulación del problema, mencionando los antecedentes más relevantes, entre otros aspectos que contribuirán al entendimiento plasmado en esta tesis.

1.2 Descripción del problema

En el Perú, lo que prima son instrumentos normativos, a nivel de varios sectores, orientados a combatir los problemas ambientales relativos a la gestión de los recursos naturales (temas “verdes”) generados por el crecimiento de la economía. Por ejemplo, (Glave, 2005) menciona no una ausencia de experiencia en el uso de instrumentos económicos, sino un sesgo a favor de instrumentos de comando y control. Así, encontramos que la legislación peruana sobre la gestión de los recursos forestales de fauna silvestre y el agua vienen desarrollándose desde hace medio siglo, pero su aplicación es muy limitada (Tolmos et al., 2004).

A partir de la década de los 90, los gobiernos muestran un mayor interés por compatibilizar el crecimiento económico con el manejo del medio ambiente, por lo que los temas o problemas relativos a la contaminación ambiental han recibido una mayor atención en el desarrollo del marco legal e institucional (Dance y Saenz, 2013). En 1990 se aprueba el Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales incorporando el principio “quien contamina paga” al establecer que “los costos de prevención, vigilancia, recuperación y compensación del deterioro ambiental corren a cargo del causante del daño”, por lo que la conservación de los recursos naturales y la protección ambiental depende exclusivamente de la regulación directa o instrumentos de comando y control Sistema Nacional de Información

Ambiental (SINAM, 2005). Pero también la obligación de pagar por la utilización de un recurso natural ha sido explícitamente incluida en la Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales de 1997, en el cual se decreta que cada actividad sectorial debe pagar al Estado una “retribución económica” para la explotación de recursos naturales.

El Perú carece de experiencia en el uso de instrumentos económicos gestionados por el Estado, (Tolmos et al., 2004) existiendo dos principales instrumentos de política ambiental utilizados:

- i) “El sistema de áreas naturales protegidas por el Estado para la conservación de la biodiversidad (SINANPE)”
- ii) “Los instrumentos de prevención y control tales como EIA (evaluación de impacto ambiental)”, EVAT (evaluación ambiental territorial), PAMA “(programa de adecuación medio ambiental), estándares y multas por incumplimiento de las regulaciones ambientales. Un único instrumento económico que se está aplicando, establecido por el mercado de manera voluntaria, es un sistema de depósito-reembolso para botellas. Señala también que, existen en aplicación un número de mecanismos de precios (tarifas y cobros “fijos o promedios”) en sectores intensivos en el uso de recursos naturales o proveedores de servicios de protección ambiental, que, si bien no son instrumentos económicos en sí mismos y no fueron creados para alcanzar metas u objetivos ambientales, tienen un efecto ambiental determinado afectando el patrón de explotación y/o contaminación.

Según este mismo autor, las tarifas de acceso a los recursos naturales son insignificantes y carentes de sustento en buenas prácticas económicas debido a la “pugna” entre el Estado y los privados por capturar una mayor proporción de la renta económica y a la existencia de vastos recursos naturales.

A fines de 1997, se autoriza el uso de permisos transables de emisiones en áreas altamente degradadas, con la promulgación del “Reglamento de Protección ambiental para el desarrollo de actividades de la industria manufacturera” por el Ministerio de Industria, (MITINCI”).

De igual manera, a partir de 1999 se allanó el camino para cobros más altos por licencias anuales en la industria pesquera y se permite que las cuotas individuales de pesca sean transferibles entre los pescadores comerciales. Finalmente, muchas áreas naturales protegidas de importancia nacional e internacional cobran tarifas de ingreso por visitar dichos lugares, algunas de las cuales han sido recientemente ajustadas al encontrarse que estas estaban muy por debajo de la disposición a pagar de los visitantes.

Varios son los factores que han limitado la introducción de la variable ambiental y aplicación del enfoque de producción más limpia (P+L) en nuestro país, entre los que se puede mencionar:

- “La falta de conocimiento de los beneficios económicos y ambientales que pueden obtenerse con estas prácticas”.
- “La carencia de recursos materiales y financieros principalmente”.
- “El énfasis de las normativas y sistemas regulatorios sobre las emisiones”.
- “Soluciones de tratamiento para la disposición final y no en la prevención del deterioro ambiental por la poca conciencia ambiental”.
- “La falta de incentivos hacia estas actividades por las entidades superiores de la administración pública ambiental”.
- “Los roles duales de los ministerios como promotores de un sector económico dado y regulador de las consecuencias ambientales de aquellas actividades económicas (Amaya, 1982)”.

Menciona que el cambio climático también genera nuevas condiciones tecnológicas e innovaciones tecnológicas, es por ello que con un Concentrador Solar de Potencia se puede maximizar la capacidad de Irradiación Normal Directa en la generación de vapor de operación directa con la finalidad de minimizar el impacto ambiental en la generación de energía eléctrica (Viebahn et al., 2011).

La creciente demanda de la energía por el costo del petróleo y los problemas ambientales requieren plantas de potencia de elevado rendimiento, bajo costo de generación, rápida construcción y poco contaminantes en esta dirección el desarrollo de las energías renovables tiene en la energía eólica y solar un importante éxito en el aumento de la generación eléctrica.

Dice que la necesidad de desarrollar las fuentes inagotables de energía denominadas renovables ha forjado la conciencia medio ambiental basada en la incertidumbre climática originada por la emisión masiva de gases de efecto invernadero, para ello es necesario recordar “los compromisos de la comunidad internacional principalmente de los países desarrollados para frenar estos cambios tan bruscos que afectan la habitabilidad del planeta así como romper la dependencia energética de los países productores” de combustible fósiles, para lo cual se realizaron foros a nivel mundial cuyos objetivos son los siguientes:

- Protocolo de Kyoto , Limitación de Gases de efecto Invernadero
- Convenio de Viena, Protección de la Capa de Ozono
- Protocolo de Montreal limitación sobre la emisión de gases de efecto invernadero
- Convenio de Ginebra, Contaminación de la atmósfera transfronteriza a larga distancia (lluvia ácida)

Acuerdos que los países tienen el compromiso de promover y cumplir para mejorar las condiciones de vida (Muñoz, 2008).

Hoy en día, existe una tendencia por generar equipos sofisticados con tecnología de punta que ayuden a brindar un excelente performance y puedan cumplir los estándares requeridos. Observándose, pocas veces diseños que puedan cumplir un proyecto sostenible.

Además, muchas veces las calderas no aprovechan de manera eficiente la energía generada en el proceso de combustión, originando grandes cantidades de residuos ambientales, lo cual repercute en la contaminación ambiental.

Por otro lado, según la eficiencia térmica que las calderas de diverso tipo de construcción entregan, estas no son consideradas las mejores, clasificándose según el recorrido del fluido como: piro tubulares y acuotubulares.

La clasificación mencionada es una de las varias formuladas por los fabricantes y este es un factor motivante para formular un nuevo diseño de caldera, la cual puede ser ideada como un diseño que combina el de una caldera piro tubular y una acuotubular, es decir un nuevo concepto que denominare mixto que genere mayor aprovechamiento del calor entregado por el combustible, mejorando de esta manera la eficiencia térmica que presentan los tipos de calderas mencionadas anteriormente.

“Es importante resaltar que un nuevo tipo de caldera con una sola fuente de calor puede generar un mayor aprovechamiento del calor de combustión, con un menor costo de mantenimiento, operación e inversión” y que simultáneamente permita obtener agua caliente y vapor de agua, que permitirá también, mejorar el uso de los espacios disponibles al “reducirse la diversificación y el número de unidades operativas necesarias en una planta industrial u otros, que por su naturaleza requieren más de un fluido portador de calor” en sus diversos procesos, así mismo que sea amigable con el medio ambiente y también contribuya con la sostenibilidad, que servirá para preservar la vida de los seres vivos en nuestro planeta (Aguilar, 2019).

1.3 Formulación del Problema

– *Problema general*

- ¿De qué manera el diseño de una caldera piro acuotubular (mixta) influye en la reducción de la emisión de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua?

– *Problemas específicos*

- ¿Cómo influye en la reducción de gases de combustión la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua con una caldera piro acuotubular (mixta)?
- ¿Cómo la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua influye en el desarrollo sostenible?

1.4 Antecedentes

1.4.1 Antecedentes Internacionales

Rahmani y Trabelsi (2014), publican el artículo “Investigación numérica de la transferencia de calor de una caldera piro tubular” este trabajo investiga numéricamente una caldera piro tubular de 4 pases y 500 HP. El objetivo de su artículo “es simular la transferencia de calor entre los gases combustión y las paredes de los tubos internos de la caldera. Especialmente, la temperatura de las paredes del tubo a diferentes condiciones de carga. Además, el modelo numérico considera transferencias de calor por radiación y convección. Los resultados desde la simulación numérica muestran una buena correlación con los datos de operación de la caldera, y se concluye que el modelo numérico es una buena herramienta para el diseño de calderas”.

Strušnik et al. (2015), en el artículo científico “Modelamiento Artificial de Redes Neuronales para la Predicción de Calderos de Alta Eficiencia en la Generación y Distribución de Vapor”. Los autores sustentan una alternativa de generación de energía eléctrica y distribución de agua caliente para usos de calefacción y ambientación a partir de la combustión

del carbón pulverizado en una central termoeléctrica en la que generan vapor sobrecalentado y distribución de condensados (agua caliente) para fines de calefacción y confort.

“Sustentan su trabajo en la necesidad de pronosticar adecuadamente los usos de la energía, el ahorro del mismo y fundamentalmente la reducción de la emisión de carbono al medio ambiente sistematizando la operación de las calderas generadoras de vapor con un control mediante redes neuronales. Este proceso de control, tiene como valor de entrada la temperatura ambiente y que mediante sistemas computacionales, aplicando modelos matemáticos con cálculo matricial, el sistema se auto regulará y logrará secuenciar la operación de las turbinas de generación eléctrica logrando un importante ahorro de energía primaria, reduciendo la emisión de partículas de carbón al medio ambiente con valores adecuados en el valor de su temperatura, reduciendo el consumo de combustible de manera importante.

También, muestran un incremento de la eficiencia térmica de las calderas generadoras de vapor, verificándose a través de pruebas de ensayo de programas computacionales que sistemáticamente van autocorrigiendo sus valores conforme el programa va implementándose.

En esa línea presentan una serie de gráficos de simulación, así como puntos de quiebre de los programas corridos y finalmente en sus conclusiones presentan valores de eficiencia térmica promedio anual y valores de la reducción de costos operativos”.

Wejkowski (2016), en su artículo “Tubos con Triple Aleta para el aumento de la Eficiencia y la Disminución de la Contaminación por CO₂ en una Caldera a Vapor” presenta los resultados de “un análisis técnico y económico empleando un sistema en el que triplica el número de aletas en un banco de tubos de una caldera denominada TFT y compara tres arreglos alternativos, la primera, un simple arreglo de tubos, la segunda, una combinación de dos filas de tubos de aletas por cada 10 filas de tubos simples y la tercera, un banco de tubos alternado, en la que mitad de los tubos simples fueron reemplazados por tubos con aletas triples, para ello emplea un cálculo computacional para representar la dinámica de fluidos.

Además, se presenta una serie de cálculos, análisis de costos, y el consumo de la combustión de carbón tipo lignito para una planta de 620 MWe, en la que un calor equivalente a 30 MWth es recuperado por el incremento de la eficiencia de 0,53%. Así, este diseño de triple aleta disminuye la polución por CO₂ al incrementar la eficiencia energética. También, se verificó que los arreglos de tubos de la segunda y tercera alternativa redujo la emisión de CO₂ en 550 y 826 toneladas por año”.

Beyne et al. (2019), describe en el artículo científico “Modelo de rendimiento dinámico y estable de calderas de cuatro pases con diferentes cajas de giro”, que el mercado actual sobre calderas pirotubulares se ha incrementado demandando diseños customizados por los fabricantes, siendo necesario modelos térmicos más eficientes. Así, este trabajo profundiza el desarrollo de modelos térmicos que consideran el estado permanente y dinámico de un flujo tipo “plug” en el horno de la caldera, los cuales son validados con resultados experimentales. Para el estado permanente, este permite optimizar el diseño de la caldera. En el caso del modelo dinámico es usado para estimar la capacidad de carga pico de la caldera. También, son presentados resultados sobre la capacidad de producción de vapor, el cual produce 2.5 veces el valor nominal en 10 minutos. Además, se concluye que la ubicación de las cajas de giro de flujo (turn box) pueden afectar la capacidad pico de carga, observándose un efecto positivo en cajas de giro sumergido.

Artículo “Infraestructura para el desarrollo sostenible” sostiene que “la columna vertebral de toda sociedad es que el suministro todos los servicios mínimos necesarios que consideren energía, agua, transporte, telecomunicaciones y la adecuada gestión de residuos constituyen sistemas de infraestructura necesarios y también sostienen que esta infraestructura puede originar daños que ocasionen impactos dañinos al ambiente, así como impactos sociales que pueden estar ocasionando impactos que sean dañinos de tal forma que puedan tener

consecuencias como el incremento de la vulnerabilidad y como resultado de ellos los desastres naturales pueden dejar una de deuda insostenible.

Así mismo afirman que no existe una definición única de infraestructura, pero dejan entender que se refieren a todos los servicios que ayuden a la mejor calidad de vida entre ellos los sistemas de salud, los sistemas financieros, de seguros, educativos y la justicia y definen a estos como los sistemas socio – técnicos complejos porque constituyen sistemas de acumulación de tecnología física que se encuentran compenetrados en las diversas sociedades humanas.

Igualmente expresan, que los sistemas de infraestructura no solo benefician a la sociedad con impactos que puedan ser beneficiosos en el aspecto social y ambiental dicen que también pueden ser tremendamente dañinos porque esta ocasiona el desplazamiento de personas, admitiendo que puedan generar empleo, estas pueden estar expuestas a peligrosas condiciones de empleo”.

“Mencionan como ejemplo de condiciones que afectan la calidad del aire haciéndolo nocivo a las emisiones de gases de efecto invernadero de las centrales eléctricas de combustibles fósiles, también se refieren a la sobre explotación de recursos naturales que tienen origen en las vías navegables, ferrocarriles, aeropuertos y puertos que contribuyen a fragmentar los hábitats, por todas estas razones es necesario minimizar el impacto que la humanidad puede originar en el medio ambiente para ello consideran que un reordenamiento en la concentración de personas, mejorando los sistemas de tratamiento y recolección de residuos sólidos, por lo que consideran que existe un interés muy considerable en sustituir la infraestructura gris por infraestructura verde y ponen como ejemplo el uso de cañaverales y el uso de estanques para tratar aguas residuales y humedales para ayudar a recargar los acuíferos subterráneos”.

“Además, que existen una diversidad de consecuencias como resultado de alterar los diversos hábitats por el solo deseo de mejorar la infraestructura y un gran factor es la cada vez

más creciente dependencia de la electricidad como factor de desarrollo en las sociedades modernas esto es motivo para impulsar tecnologías modernas generadoras de electricidad y para ello se debe alentar la tecnología de energías renovables como la solar y eólica y con ello se contribuye a disminuir la contaminación ambiental y el efecto invernadero. Esto quiere decir que se debe evitar la inversión en infraestructura insostenible impulsada por la rápida urbanización, el crecimiento de la población y la industrialización de las economías en desarrollo.

Darbandi et al. (2020), presenta en su artículo “Numerical study on NOx reduction in a large-scale heavy fuel oil-fired boiler using suitable burner adjustments”, un estudio numérico para reducir los efectos de los residuos de las variantes de óxidos de nitrógeno en calderas con combustible pesado al variar el ajuste de los quemadores. “Los resultados numéricos fueron comparados con los datos de medición de laboratorio, observándose que la emisión de óxidos de nitrógeno en la caldera y el rendimiento por combustión pueden ser controlados por el ajuste de la distribución de aire dentro de las tres etapas del quemador. Los resultados finales muestran un óptimo ajuste de la reducción de emisión de óxidos de nitrógeno hasta en un 30%, sin modificar la eficiencia del proceso de combustión”.

Hou et al. (2020). Menciona que “el ciclo de congelación-descongelación promueve la descomposición de la materia orgánica del suelo en regiones frías, provocando la emisión de carbono y nitrógeno en las formas de dióxido de carbono, metano, y monóxido de nitrógeno, resultando en una retroalimentación positiva al calentamiento climático. También, establece que para regular eficazmente las emisiones de gases de efecto invernadero, existen cuatro modos de regulación, esto es, la adición de biocarbón (BA) (biochar addition), adición de paja (SA) (straw addition), biocarbón y paja combinados (CBS) (combined biochar and straw) y un control natural (BL) (natural control). A partir de estos modos, se observa que la adición de paja (SA) y biocarbón y paja combinados (CBS) impidieron eficazmente la reducción

sustancial de la temperatura del suelo, el contenido de humedad, el nitrógeno inorgánico y el carbono orgánico disuelto durante el período de congelación. Además, se muestra que los flujos de emisión de monóxido de nitrógeno y dióxido de carbono eran bajos y la diferencia encontrada fue pequeña bajo los diversos tratamientos utilizados. Al mismo tiempo, las respuestas de los flujos de metano y monóxido de nitrógeno en el agua del suelo, el calor, el carbono y el nitrógeno se debilitaron con este tratamiento. Aunque el tratamiento CBS aumentó el flujo de emisiones de dióxido de carbono durante este período, en vista del efecto general de todo el período de congelación-descongelación, el tratamiento CBS redujo de manera más efectiva el potencial de calentamiento global (GWP) del suelo. Por lo tanto, se concluyó que la aplicación conjunta de bio carbón y paja (CBS) es la estrategia más efectiva para la gestión del presupuesto de gases de efecto invernadero y la restauración de nutrientes del suelo en áreas congeladas estacionalmente”.

Nigam et al. (2016) en su artículo “Desarrollos recientes sobre combustibles alternativos, energía y medio ambiente para la sostenibilidad” dicen que “la transformación hacia una economía más limpia es más urgente que nunca según el último informe del Foro Económico Mundial y que el desarrollo de rutas de energía alternativa debe apoyarse en aspectos económicos y sociales, así mismo, deben tratarse simultáneamente, la bioenergía de enfoque moderno, que no incluya la combustión tradicional de biomasa sólida, es el mayor aportante en este tipo de energías renovables, según la Asociación Internacional de Energía, debido a que participa con el 53% (737 MTOE) como aporte del total de energías renovables.

Mencionan que teniendo en consideración las políticas definidas por los países, estos requieren un incremento de la bioenergía moderna con una tasa promedio anual del 3.1% hasta el 2030 en la tabla 1 se muestra el consumo de biocombustibles a nivel mundial, también mencionan que, para las economías en desarrollo se espera grandes cantidades de consumo como consecuencia de su rápido desarrollo económico.

Tabla 01

La tabla muestra la tendencia del consumo de combustible fósiles desde el año 2004

Countries	Year			
	2004	2010	2015	2030
Africa	0.00	0.60	1.10	3.40
Brazil	6.40	8.30	10.40	20.30
Canada	0.10	0.60	0.70	1.30
China	0.00	0.70	1.50	7.90
Developing Countries	6.50	10.90	15.30	40.40
Developing Asia	0.00	1.90	3.70	16.10
India	0.00	0.10	0.20	2.40
Indonesia	0.00	0.20	0.40	1.50
latin America	6.40	8.40	10.40	20.30
Middle East	0.00	0.10	0.10	0.50
North Africa	0.00	0.00	0.10	0.60
North America	7.00	15.40	20.50	24.20
OECD	8.90	30.50	39.00	51.80
Pacific	0.00	0.30	0.40	1.00
Russia	0.00	0.10	0.10	0.30
Transition Economies	0.00	0.10	0.10	0.30
United States	6.80	14.90	19.80	22.80
World	15.50	41.50	54.40	92.40

Nota: La tabla muestra la tendencia del consumo de combustible fósiles desde el año 2004.

Fuente: (Kumar et al., 2020)

En tal sentido, mencionan una diversidad de combustibles alternativos y energía desarrollados recientemente hacia un futuro verde y sostenible como son los que se mencionan a continuación.

- La energía de la biomasa residual conduciría a un aumento de la tierra cultivable utilizada para la producción de biocombustibles, también considera la energía de corrientes de desechos (aguas residuales y desechos sólidos).
- El biometano como combustible alternativo para vehículos de transporte y el gas motor denominado biogás que produciría electricidad verde, sobre todo con las tecnologías de cultivo de algas.

- Los sistemas bio electroquímicos utilizan la tecnología microbiana (MFC) que es un enfoque bioenergético debido a que ofrece un potencial de generación de electricidad renovable y sostenible a partir de aguas residuales”.
- “El Biohidrógeno o hidrógeno es posible producirlo en forma sostenible a partir de varios recursos biológicos renovables como desechos orgánicos, residuos agrícolas y biomasa de algas”.
- El biohitano que resulta como una mezcla del biohidrógeno y el biometano puede producirse mediante un proceso de fermentación anaeróbica.

Mencionan que varios tipos de biomasa lignocelulósicas como la paja de arroz, el bagazo, el miscanto y otros tipos de biomasa vegetales podrían usarse como portadores potenciales para la generación de bioenergía y bioproductos utilizando la biorefinería.

Gustafsson et al. (2021), comenta que “existen varias alternativas sobre cómo eliminar el diésel en los transportes pesados y reducir el impacto del cambio climático del sector. En el caso de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de portadores de energía para vehículos pesados, analizan el efecto de la intensidad de carbono para generar la electricidad utilizada en la producción. Los resultados muestran que los portadores de energía con una alta dependencia de la electricidad no son necesariamente mejores que el diésel desde la perspectiva estos vehículos. En particular, los combustibles producidos mediante electrólisis no son adecuados para la electricidad con alto contenido de carbono. Por el contrario, los biocombustibles basados en residuos tienen bajas emisiones de los gases de efecto invernadero, independientemente de la electricidad del sistema. Los autobuses eléctricos a batería muestran una gran reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los autobuses diésel y muchas otras alternativas, mientras que los camiones eléctricos a batería tienen mayores emisiones que los de diésel”.

“La Asamblea General de Naciones Unidas”. En el Informe del Secretario General “Hitos fundamentales necesarios para llevar a cabo un proceso coherente, eficiente e inclusivo de seguimiento y examen en el plano mundial” menciona que “en septiembre del 2015 acordaron una agenda mundial muy ambiciosa cuyo objetivo tenía como título Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible que tiene como objetivo conseguir el Desarrollo Sostenible así como erradicar la pobreza, los temas de la denominada agenda consiste en un plan de acción a implementar y que engloba un espectro muy amplio como son las personas, el planeta, la prosperidad, la asociación y la paz. Así mismo se estudia cómo implementar a nivel mundial un sistema que sea coherente, eficiente e inclusivo, y un examen dentro de lo dispuesto en los acuerdos en la Agenda 2030, donde la responsabilidad es de cada país”.

“Se menciona que en el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (Resolución 69/283 de la Asamblea General, Anexo II) así como la Agenda de Acción de Addis Abeba de la Tercera Conferencia Internacional sobre la Financiación para el Desarrollo aprobada en Julio del 2015 (resolución 69/313) también en la Resolución 70/1 de la Asamblea General”, del mismo modo en el Acuerdo de Paris sobre el cambio climático de diciembre del 2015 dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, se menciona que el año 2015 fue crucial para el multilateralismo y la orientación de las políticas internacionales, se menciona que es producto de la visión común para la articulación de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible en los próximos 15 años.

En esta Asamblea se menciona que los estados miembros se mostraron muy decididos al cumplimiento del desarrollo sostenible, así como efectuar el seguimiento y examen debiendo prevalecer el espíritu de asociación y la participación activa de la sociedad civil y el sector empresarial, institucionalizando los principios expuestos y dar cuenta de las dimensiones que

se deberá dar cuenta previa consulta con los estados miembros, mediante un informe, en un foro político a efectuarse el 2016.

También se menciona que la Agenda 2030 debe buscar aprovechar todas las plataformas con el objetivo de integrar los Objetivos del Desarrollo Sostenible considerando que todo esto debe estar dirigido por los países miembros y debe centrarse en las personas y países”.

El Desarrollo Sostenible tiene objetivos concretos que a continuación se mencionan:

“Se busca tener un sistema de examen orientado a la prestación de apoyo para su implementación a nivel nacional donde los estados se comprometen a efectuar un seguimiento y examinar a nivel mundial para erradicar la pobreza y el hambre”.

“Un siguiente objetivo trata sobre la coherencia en la colaboración con las instituciones existentes donde la estructura del examen debe girar en torno a un foro político que supone la culminación de una red de procesos de seguimiento y examen a escala mundial donde se remarca que la Agenda 2030 ofrece una visión global y un marco para movilizar e integrar en forma real la labor de los diversos órganos y foros en relación a los Objetivos del Desarrollo Sostenible”.

“Así mismo se espera un foro político de alto nivel sobre el desarrollo sostenible donde se espera que se evalúe en forma integral la implementación, los logros y los obstáculos a los que se enfrentan los países miembros, también se considera que las reuniones anuales del foro político de alto nivel pueden dividirse en cuatro partes: a) examen de los procesos generales a la luz del informe sobre los progresos de los Objetivos del desarrollo sostenible, b) examen de los progresos en ámbitos específicos a la luz del examen temático de que se trate y exámenes a fondo de un subconjunto de Objetivos de Desarrollo Sostenible, c) examen del Objetivo 17 y otras aportaciones relativas a la implementación de la Agenda de Acción de Addis Abeba y finalmente d) problemas nuevos y emergentes y adopción de una perspectiva a largo plazo”

“Otro aspecto a considerar es a la Asamblea General como el principal órgano normativo y de deliberación de las Naciones Unidas que está conformada por comisiones respecto a la Agenda 2030 que transformaran las conclusiones y la orientación política, así como ofrecer el apoyo económico y social. Tiene en su organización un Consejo Económico y Social como órgano principal que está integrada por órganos subsidiarios que deberán incorporar la Agenda 2030 en su labor examinadora respetando los principios en los que se apoya.

Los estados miembros en la agenda 2030 definen que deben reunirse periódicamente bajo los auspicios del Consejo Económico Social con el objetivo de evaluar con carácter voluntario a título de exámenes a los países desarrollados y en vías de desarrollo, estos exámenes pueden constituirse en plataformas para formar alianzas; con la idea de uniformizar criterios se propusieron una serie de componentes para articular sus informes con breves exposiciones que deben considerar una declaración introductoria, un resumen, una parte introductoria, la metodología y proceso de preparación del examen, políticas y entorno propicio que considera una serie de aspectos dentro de ellos el análisis temático, los medios de implementación las próximas medidas así como un anexo estadístico y finalmente las conclusiones”.

1.4.2 Antecedentes Nacionales

Mariano (2011). En su tesis doctoral “Estudio Geoquímico de los fluidos Volcánicos e Hidrotermales del Complejo Volcánico Copahue - Caviahue y su aplicación para tareas de Seguimiento”, menciona que “los fluidos magmáticos que ascienden a través de un sistema volcánico activo, comúnmente se mezclan con fluidos meteóricos infiltrados al alcanzar profundidades someras” sub superficiales, otorgándoles una mayor temperatura y desarrollando un sistema hidrotermal particular. Dice que Así, estos “sistemas hidrotermales (desarrollados en el interior de un edificio volcánico) se denominan sistemas volcánicos-

hidrotermales” y pueden producir agua caliente y/o vapor para generación de energía eléctrica, que se estudia como la geotermia

. Del mismo modo, en “algunas áreas geotermiales, el sistema hidrotermal es alimentado por una fuente de calor magmática, sin que necesariamente se encuentre involucrado en un edificio volcánico, en este caso se denomina magmático-hidrotermal”.

“Es por esta razón que los sistemas volcánicos-hidrotermales han sido identificados como un caso particular de sistemas geotermiales magmáticos, que generan agua caliente, estos están principalmente relacionados con estratovolcanes o calderas recientes y presentan manifestaciones superficiales características relacionadas con la emisión de los fluidos hidrotermales (gases y aguas calientes)”. Relata que estas manifestaciones, idealmente están zonificadas espacialmente con respecto al centro volcánico de emisión, por ejemplo: en el cráter activo que actúa como centro emisor, es común encontrar emisiones gaseosas puntuales denominadas fumarolas o solfataras, y en el caso de contar con un efectivo aporte de agua suelen formarse lagunas cratéricas ácidas y calientes”. También, dice que, “en los flancos del edificio volcánico, es común encontrar emisiones gaseosas puntuales como las antes mencionadas o en forma de gases difusos, muchas veces imperceptibles a la vista, y vertientes ácidas y calientes (sulfatadas y cloruro-sulfatadas) donde se produce la intersección de la capa freática y la superficie”. Además, se menciona que estas situaciones en algunos casos son menos comunes y puede dar lugar a la generación de arroyos ácidos.

Refiere que a menores alturas se pueden reconocer vertientes termales con pH cercanos a la neutralidad, clorurados o en algunos casos bicarbonatados-clorurados, como consecuencia de la mayor interacción y dilución de los fluidos magmáticos originales”.

Aguilar (2019). En su tesis de maestría “Dimensionamiento Construcción y caracterización de una Caldera Vertical Mixta (piro acuotubular) Multipropósito que emplea Combustibles Alternativos” construye y prueba un nuevo tipo de caldera vertical mixta y de 03

pasos o recorridos de gases a través de su superficie de transferencia de calor de uso multipropósito y con combustibles alternativos cuyo objetivo principal es optimizar el nivel de eficiencia térmica; es decir la condición de multipropósito significa que puede producir vapor de agua, agua caliente y finalmente entregar aceite térmico si fuera el caso en forma alternativa y al mismo tiempo contempla la posibilidad de emplear alternativamente combustibles como petróleo diésel, Gas natural y Gas Licuado de Petróleo (GLP).

De esta manera, en su diseño combina el concepto de una caldera piro tubular y el de una caldera acuotubular que denomina mixta. Presenta un nuevo tipo de diseño, que desde el punto de vista constructivo la cámara de combustión es ensamblada con la cámara de agua (entiéndase como tal al volumen que contiene al agua para su calentamiento y un espacio de volumen en el que se almacena el vapor de agua).

Así mismo con la finalidad de aprovechar mejor la temperatura de los gases producto de la combustión establece 03 recorridos de estos a través de la superficie de calentamiento. Con este tipo de diseño presenta una innovación tecnológica que proporciona una mayor eficiencia térmica así mismo ofrece la posibilidad de reducir la inversión en equipamiento y el mejor aprovechamiento de espacios cuyo mayor beneficio económico (rentabilidad) podría tener mejores resultados en la pequeña y mediana industria.

También, es importante mencionar que este diseño de caldera es amigable con el medio ambiente por cuanto el valor de la temperatura de emisión de gases es significativamente bajo. Así se presenta una estructura de costos de construcción para fines de la inversión a realizar.

En las conclusiones demuestra que es posible construir un equipo que sea de innovación tecnológica, una eficiencia térmica de elevado valor, y que es posible construir en forma separada la cámara de combustión y la cámara de agua, que, en su consulta sobre patentes ante INDECOPI, califica en la categoría de Patente de Invención, actualmente el trámite está en proceso.

Pérez et al. (2021). Comenta sobre “el cambio que originan los incendios forestales, estudiando un incendio que ocurrió a más de 50 años en un bosque lluvioso templado que causó condiciones de inundación en un Placic Andosol para evaluar cuánto duran estos efectos, planteándose la hipótesis de que los efectos del fuego sobre el equilibrio de los gases de efecto invernadero (GEI) del suelo podrían durar muchos años. Por lo cual se realizó mediciones mensuales de los flujos de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) durante dos años de suelos en un bosque no quemado (UF) y un sitio cercano que se quemó hace más de 50 años (BS). Nuestros resultados muestran que las emisiones de CO₂ de los suelos fueron más altas en la UF que en la BS, y se correlacionaron positivamente con la temperatura y negativamente con el contenido de agua del suelo en ambos sitios. Ambos sitios fueron sumideros netos de CH₄ (más altos en la UF) y los flujos se correlacionaron positivamente con el contenido de agua del suelo y negativamente con la temperatura (relación más fuerte en la BS).

Las emisiones de N₂O fueron bajas en ambos sitios y mostraron correlación con la velocidad de fricción en el sitio de UF. El balance de GEI del suelo mostró que la UF emitió aproximadamente un 80% más que la BS. Combinando nuestros flujos medidos con datos de intercambio de ecosistemas netos de CO₂, estimamos que, a nivel de ecosistema, la UF era un sumidero de GEI mientras que el BS era una fuente, mostrando un efecto duradero del fuego y la importancia de preservar estos ecosistemas forestales”.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación

La importancia de generar conocimientos, beneficios para la humanidad y el medio ambiente es un desafío que impulsa a desarrollar ideas innovadoras por los ingenieros y científicos, los cuales ayudan a transformar el entorno donde se encuentran y son un soporte

para la sostenibilidad. El presente trabajo justifica su desarrollo por beneficiar de forma significativa en lo social, ambiental y económico.

En lo social, este trabajo generará un conocimiento que ayudará en la sofisticación del diseño de las calderas con un nuevo tipo de caldera como son las piro acuotubulares (mixtas), ayudando a generar agua caliente y vapor de agua simultáneamente, el cual puede ser aprovechado para diversos fines en pro de una sociedad más saludable y sostenible a partir de una sola fuente de calor en lugar de utilizar dos fuentes de calor. Además, podemos mencionar que esta generación no disminuye la eficiencia de la caldera, sino ayuda a mejorar la eficiencia de la misma. Por otra parte, este diseño de caldera vertical es considerado innovador desde el punto de vista del desarrollo tecnológico, marcando un nuevo aporte a la ingeniería, por ser considerada una innovación tecnológica.

En lo ambiental, podemos mencionar que este trabajo desarrolla una investigación sostenible, incorporando este aporte al tipo de caldera propuesta, como lo es la caldera vertical piro acuotubular (mixta). La sostenibilidad, es inferida debido al aprovechamiento que se realiza en la caldera para generar agua caliente y vapor de agua, disminuyendo de esta forma los residuos producidos por la combustión, lo cual es un problema que comúnmente es observado en los hornos de fundición, calderas industriales (generan agua caliente o vapor alternativamente), turbinas de gas (generan energía eléctrica) y la diversidad de procesos industriales que emplean hidrocarbonados.

En lo económico, se conoce que la instalación de equipos térmicos generadores de agua caliente y vapor de agua en los procesos industriales implican un mayor consumo de sus consumibles (combustibles), por ende, se observa un efecto negativo sobre el medio ambiente. Además, estos equipos requieren la utilización de equipos generadores de calor, según sea el tipo proceso que pueda observarse, esto es, agua caliente o vapor de agua. La adición de equipos para generación de vapor de agua o agua caliente, impacta económicamente a un proceso

industrial, elevando por ende los costos de estos procesos que son requeridos por la industria. La propuesta de una caldera piro acuotubular (mixta) con generación simultánea de agua caliente y vapor de agua está orientada a reducir el espacio necesario para la instalación de mayor cantidad unidades, aportando significativamente en el aspecto económico.

Así mismo, como alternativa de equipamiento industrial, constituye un aporte muy importante al desarrollo de la tecnología porque reduce el consumo de combustible y la emisión de gases de efecto invernadero, el impacto ambiental y contribuya a la sostenibilidad

1.5.2 Importancia

La industria manufacturera que requiere de procesos térmicos que empleen calor en sus diversas etapas de producción, necesitan de agua caliente o vapor de agua según la temperatura que se requiera para tal objetivo. Este calor a suministrar es como consecuencia del calor de combustión transferido desde la combustión de un determinado tipo de combustible, según sea el caso para agua caliente o vapor de agua,

La consecuencia de este requerimiento de calor es la instalación de dos equipos operando en paralelo para producir agua caliente y vapor de agua, por tanto, una doble emisión de gases de combustión al medio ambiente, una segunda posibilidad es la instalación de una unidad de mayor capacidad que produzca vapor para un determinado requerimiento y a continuación con otra porción del vapor que entregue esta unidad, produzca agua caliente en otro equipo adicional desde el calor transferido por el vapor de agua. Que del mismo modo emite una importante cantidad de gases de combustión al medio ambiente.

Los fabricantes de estos tipos de equipos no tienen la oferta de equipos que produzcan simultáneamente un equipo térmico que pueda generar simultáneamente agua caliente y vapor de agua, que emita una menor cantidad de gases de combustión al medio ambiente en comparación con los equipos térmicos anteriores, lo cual crea la necesidad de resolver este problema.

Por tales razones se busca resolver esta limitación tratando de diseñar una unidad que permita reducir la emisión de gases de combustión al medio ambiente y que del mismo modo contribuya al desarrollo sostenible, para ello se cree necesario diseñar una caldera que tenga las siguientes características:

- a. Una caldera de tres pasos de gases que permita un mejor aprovechamiento del calor de combustión y por tanto una menor temperatura de los gases emitidos al medio ambiente, así como reducir el impacto sobre el efecto invernadero e incrementar la sostenibilidad.
- b. Así mismo contribuye a la reducción del carbono emitido al ambiente.
- c. La generación simultánea de agua caliente y vapor de agua permite reducir el número y tamaño de unidades térmicas instaladas en una instalación que lo requiera haciendo a su vez economía de espacio.
- d. El mejor aprovechamiento de los gases de combustión para producir simultáneamente agua caliente y vapor de agua puede efectuarse en una misma unidad.
- e. El diseño, al construirse en tres subsistemas permitirá efectuar actividades de mantenimiento reduciendo tiempos, costos y frecuencia de mantenimiento.
- f. Este diseño es una nueva generación que mejora al efectuado por Aguilar (2019) por cuanto su diseño inicial de caldera piro acuotubular se le mejora con la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua.

1.6 Limitaciones de la investigación

La presente investigación es elaborada bajo un carácter innovador, pero debido algunos aspectos económicos, y a la muy poca información encontrada sobre el tema de calderas mixtas, particularmente sobre la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua en calderas piroacuotubulares no se ha encontrado información por lo que es posible limitar esta investigación.

La investigación no desarrolla un experimento de la propuesta de esta caldera mixta, (Piro acuotubular) sino fundamenta los resultados en el trabajo de (Aguilar, 2019).

El modelo matemático solo es establecido para un tipo de combustible, el cual según (Aguilar, 2019) logró una mayor eficiencia de este tipo de calderas mixtas (Piro acuotubular)

Además, este modelo matemático propuesto calcula de forma matemática los residuos de la combustión, evaluando la sostenibilidad de la propia caldera y consecuentemente la colaboración con la sostenibilidad y la disminución de la emisión de los gases de efecto invernadero. La generación de agua caliente y vapor de agua es evaluada para mejorar la eficiencia de la caldera, pero es necesario realizar un experimento para correlacionar los datos obtenidos en este trabajo, se tiene en cuenta que la unidad de generación de calor para los fines de los cálculos es la misma y en un futuro en caso de realizar el experimento será necesario tener en cuenta estos aspectos técnicos.

1.7 Objetivos

– *Objetivo general*

- Proponer un diseño de una caldera piro acuotubular (mixta) que permita la reducción de la emisión de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua.

– *Objetivos específicos*

- Determinar la influencia de la reducción de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua con una caldera piro acuotubular (mixta).
- Determinar la influencia de la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua en el desarrollo sostenible.

1.8 Hipótesis

– *Hipótesis General*

- El diseño de una caldera piro acuotubular (mixta) influye significativamente en la reducción de la emisión de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua.

– *Hipótesis Específicos*

- La reducción de gases de combustión influye significativamente en la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua con una caldera piro acuotubular (mixta).
- La generación simultánea de agua caliente y vapor de agua mediante una caldera piro acuotubular influye significativamente en el Desarrollo Sostenible.

II. MARCO TEÓRICO

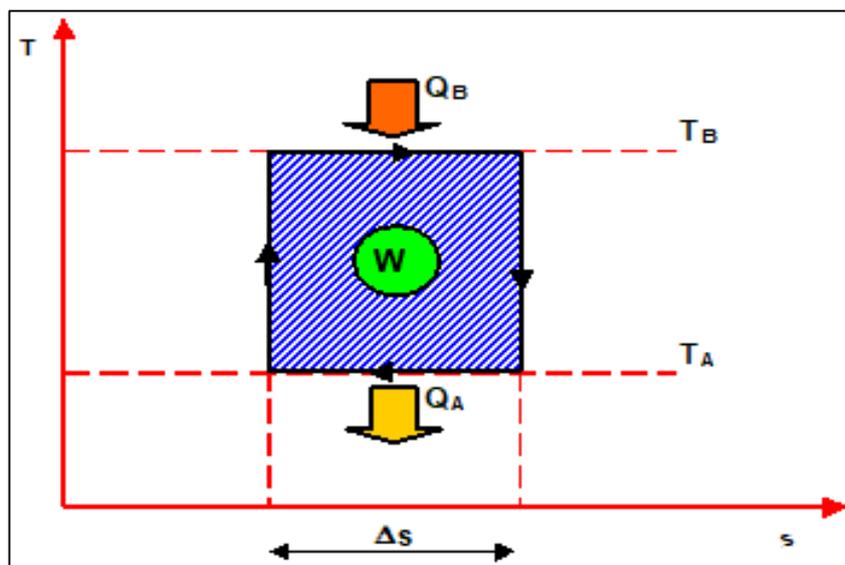
2.1 Marco conceptual

2.1.1 Generación simultánea de vapor y agua caliente

La generación simultánea de agua caliente y vapor de agua puede estar comprendido en el concepto de cogeneración en el cual emplea un equipo de combustión interna a partir del cual genera vapor y agua caliente. Este concepto es basado en el ciclo de Carnot (Figura 2), donde solo se produce trabajo y el calor residual es emitido al ambiente (Figura 3) en una máquina de combustión interna convencional. Además, la Figura 4, ilustra una máquina de combustión interna donde no solo se produce trabajo sino también calor en el proceso de cogeneración (Ospina, 2012). Así mismo, es necesario disponer de un sistema de recuperación térmica que proveerá de vapor y agua caliente para usos diversos en un centro de producción aplicado.

Figura 02

Ciclo de Carnot

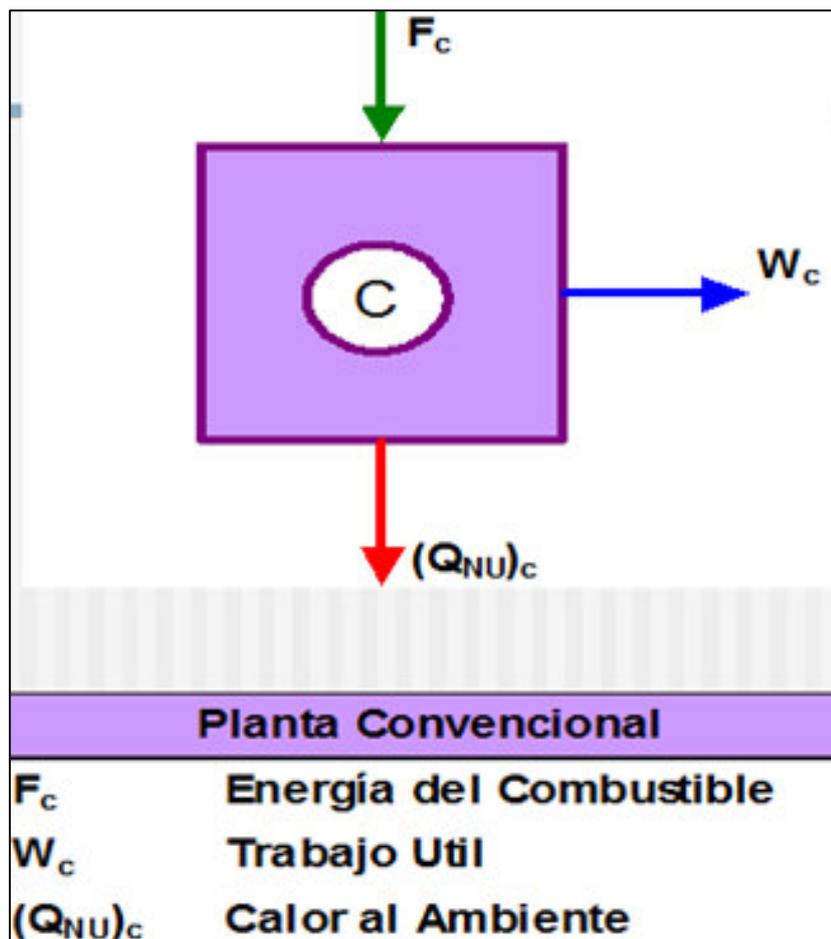


Nota: Indica la transformación de una fuente de calor de mayor temperatura en trabajo en el eje de una máquina térmica y el rechazo del calor residual al ambiente. Fuente: (Horlock y Bathie, 2004).

La falta del buen aprovechamiento del calor residual emitido por una máquina de combustión interna se muestra en la Figura 3 en la que se muestra que el calor resultante que contienen los gases de combustión que se emiten al ambiente y a temperaturas elevadas que inciden sobre el efecto invernadero.

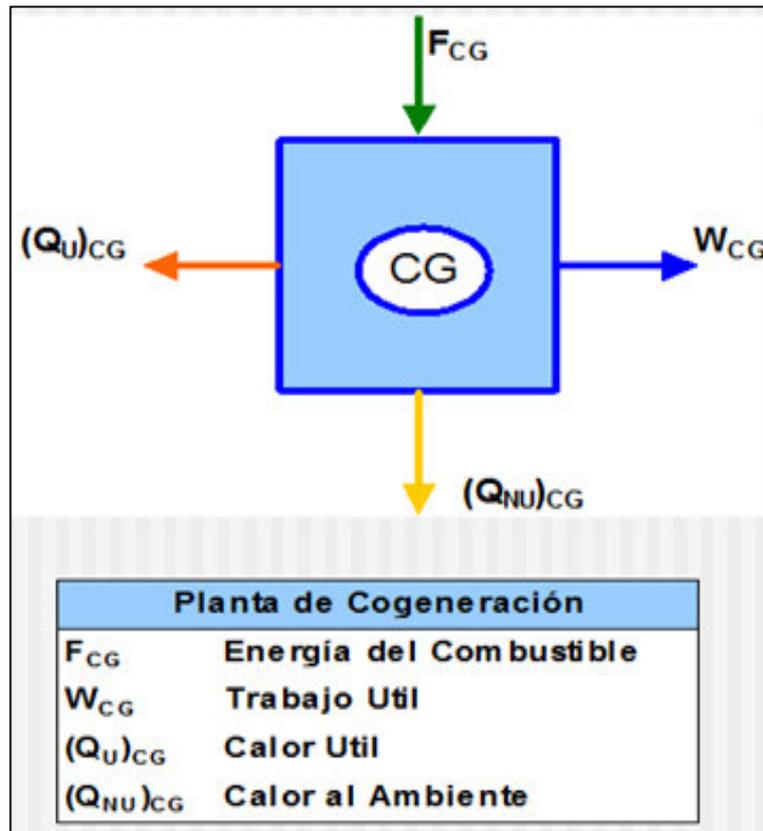
Figura 03

Esquema de una máquina de combustión interna

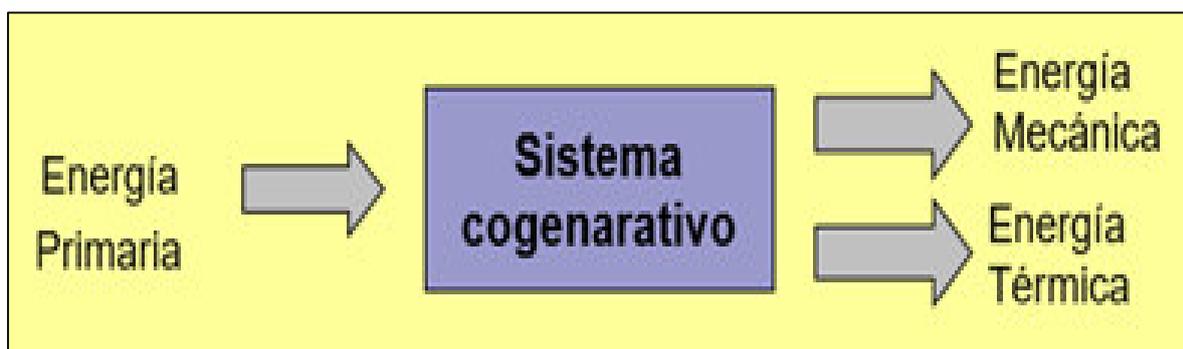


Nota: Aprovechamiento del combustible (F_c) suministrado y su transformación en trabajo en el eje de la máquina (W_c) y el rechazo del calor no aprovechado ($(Q_{NU})_c$) al medio ambiente, Fuente: Horlock y Bathie, 2004.

Para una mejor comprensión la Figura 4 y la Figura 5, muestran el concepto de cogeneración para una máquina térmica que produce energía mecánica y energía térmica en forma simultánea.

Figura 04*Máquina Térmica*

Nota: Máquina Térmica con cogeneración produce trabajo y calor a partir de los gases de combustión. Fuente: Horlock, 1997.

Figura 05*Esquema de energía*

Nota: Esquema que define el concepto de cogeneración a partir de una fuente de energía primaria y su transformación en energía mecánica y térmica. Fuente: Elaboración Propia.

2.1.2 Clasificación de Calderas

Las calderas constructivamente, desde el punto de vista del circuito o recorrido de los fluidos, son de dos tipos fundamentalmente estos son: Una caldera piro tubular y una acuotubular, es decir, por el interior de los tubos de una caldera piro tubular circulan los gases calientes y en una caldera acuotubular por el interior de los tubos circula agua en proceso de evaporación.

Según, la posición las calderas están clasificadas de forma general como horizontales y verticales, así como desde el punto de vista del fluido transportador de calor pueden ser de vapor o agua caliente. Por el Nro. de pasos (o recorridos) de los gases de combustión a través de la superficie de transferencia de calor pueden ser de uno, dos y tres pasos y es preciso mencionar que los diversos autores sobre esta base formulan una serie de clasificaciones que no serán tratados, no tienen mayor importancia, siendo necesario precisar que en ningún caso se menciona el tipo de caldera propuesto en esta tesis

Las siguientes Figuras (6, 7 y 9) explican la diferencia constructiva entre una caldera piro tubular y acuotubular, así como una caldera vertical. Estas figuras son establecidas por Abarca (2011) que como primera clasificación se observa en la Figura 6 dos formas de construir una caldera piro tubular en posición horizontal, donde la diferencia de mayor importancia es el aprovechamiento del calor en su parte posterior y se aprecia la combustión y circulación de los gases. También en la Figura 8 se observa en una vista de sección que presenta como el agua en proceso de calentamiento y generación de vapor rodea a los tubos por cuyo interior circulan los gases de combustión.

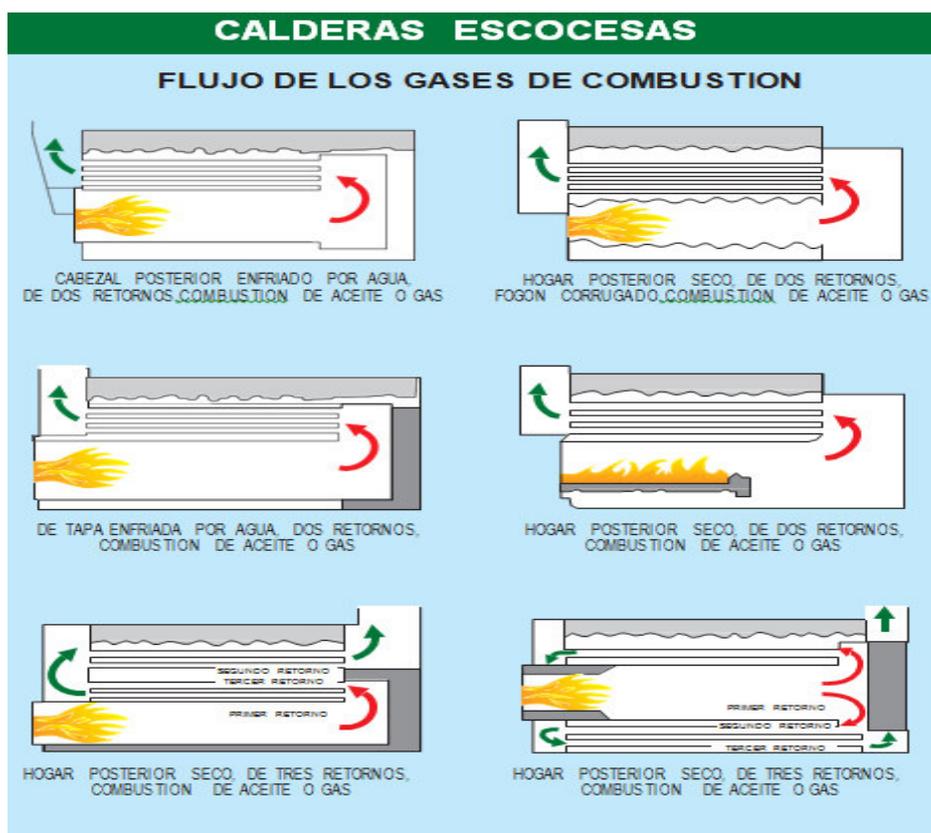
En la Figura 7 se observa el esquema constructivo de principio de una caldera acuotubular en donde se observa que el agua en proceso de generación de vapor circula por el interior de los tubos.

Del mismo modo en la Figura 9 se observa una caldera vertical que muestra el quemador ingresado en la cámara de combustión concretamente el componente denominado cañón del quemador, también se observa que por el interior de los tubos verticales circulan gases de combustión. Este tipo de calderas pueden ser construidas de uno o dos pasos de gases en concordancia con el tipo de diseño.

La presente tesis propone un nuevo tipo de caldera como alternativa para la generación de agua caliente y vapor de agua: es importante mencionar que en los tipos de calderas mencionados anteriormente solo se construyen para generar agua caliente o vapor de agua.

Figura 06

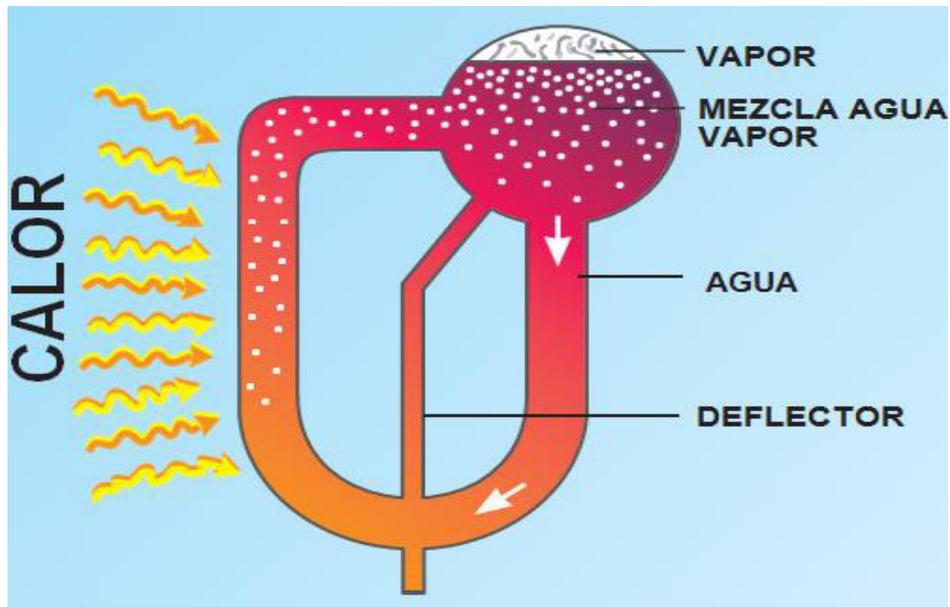
Caldera Horizontal Piro-tubular



Nota: Caldera Horizontal Piro-tubular en corte de 2 y 3 pasos de gases con espalda o tapa posterior seca y húmeda. Fuente: “Descripción de Calderas y Generadores de Vapor” Abarca, 2011. www.achs.cl/portalqa/trabajadores/Capacitacion

Figura 07

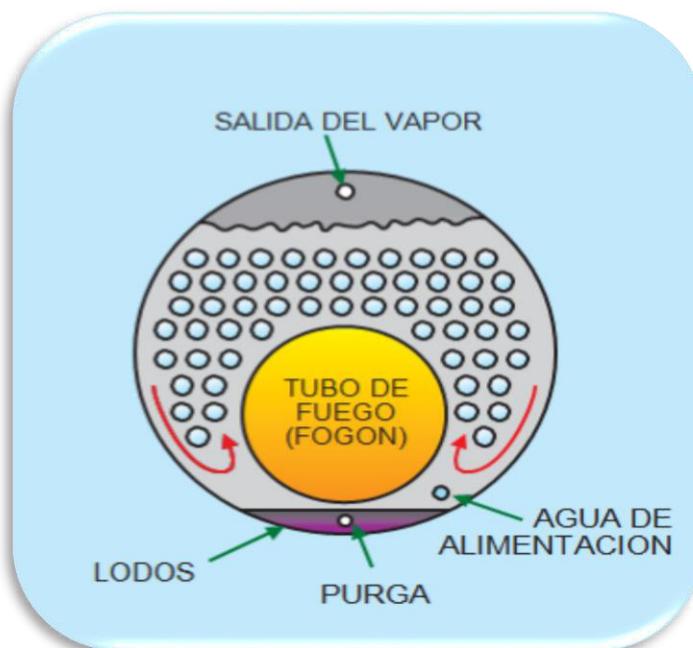
Circulación del fluido en una caldera acuotubular



Nota: Vista de la circulación del fluido en una caldera acuotubular Fuente: “Descripción de Calderas y Generadores de Vapor”, por Abarca, 2011. www.achs.cl/portalaq//trabajadores/Capacitacion

Figura 08

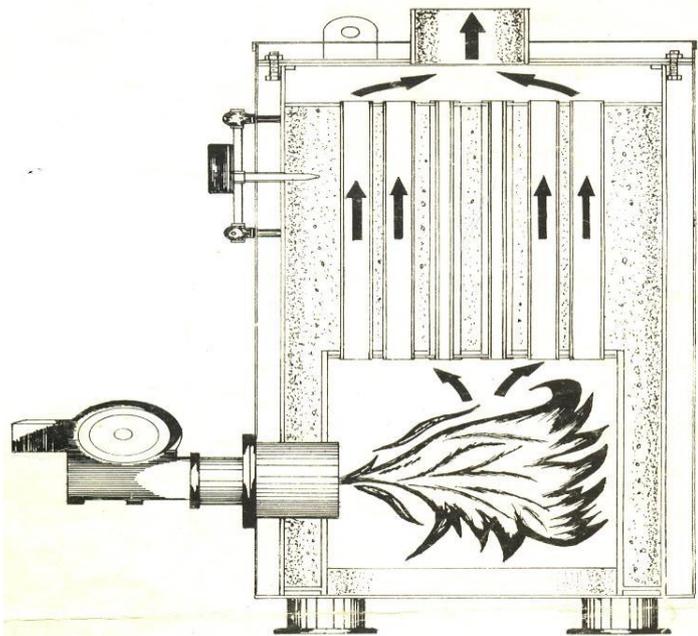
Vista de Corte de una caldera Piro-tubular y la Circulación de agua



Nota: Vista de Corte de una caldera Piro-tubular y la Circulación de agua Fuente: “Descripción de Calderas y Generadores de Vapor”, por Abarca, 2011. www.achs.cl/portalqa//trabajadores/Capacitación.

Figura 09

Caldera vertical de 01 paso de gases de combustión



Nota: Vista de corte de una caldera vertical de 01 paso de gases, Fuente: York Shipley, 1980.

a) Calderas de condensación

Las calderas de condensación son basadas en la generación de agua caliente a partir de gas natural emitiendo gases de combustión al ambiente en valores considerables y una forma de reducir la emisión de gases de combustión se puede efectuar cambiando el tipo de combustible de Gas Natural a Biomasa y similarmente una forma de reducir la emisión de gases sería posible generando energía eléctrica y recuperando el calor de los gases de combustión para producir agua caliente mediante un sistema de intercambio de calor (Montero et al., 2009).

b) Calderas solares

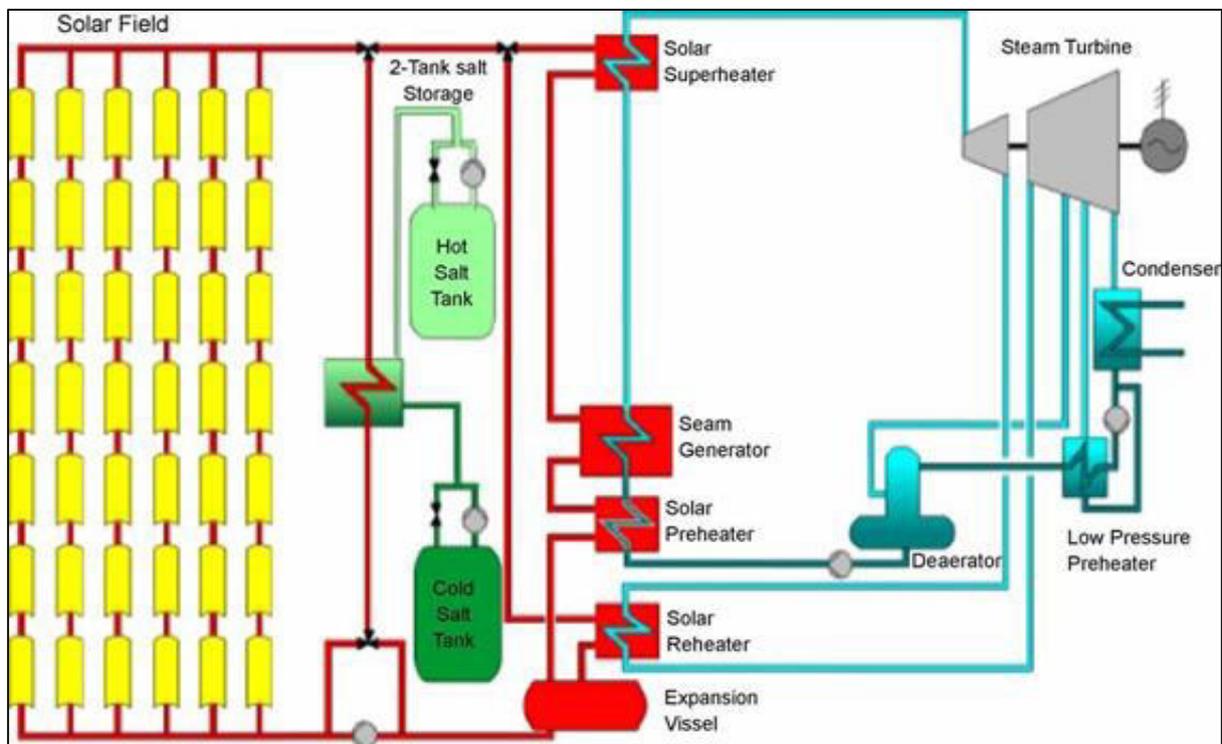
Las calderas solares ideadas para generación de vapor son empleadas en centrales eléctricas dentro del uso del empleo de energías renovables y de esta forma eliminar la emisión

de gases de combustión que afectan al medio ambiente como consecuencia de la combustión de hidrocarburos, menciona que dentro del concepto de energías renovables es posible que el empleo de Aero generadores de tipo paleta no lleguen a cubrir la necesidades de potencia requeridas para la generación de energía eléctrica y dada la importancia de cubrir este tipo de demanda y necesidad de reducir la emisión de gases que incrementen el efecto invernadero se propone un nuevo tipo de diseño de caldera que elimine la emisión de gases de combustión (Muñoz, 2008)

Esta planta de generación eléctrica a partir de la absorción de la energía solar y su almacenamiento en tanques de sales especiales en un tanque frío y otro caliente puede generar vapor de agua para ser utilizado en el accionamiento de una turbina a vapor que transforme la energía de presión del vapor en energía en el eje de la máquina que conectada a un alternador pueda generar energía eléctrica, tal como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10

Esquema de una planta solar de generación de energía eléctrica



Nota: Esquema de una planta de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de la energía solar empleando vapor de agua para el accionamiento de una turbina de vapor con una fuente de calor solar. Fuente: Herrmann y Kearney, 2002.

Por lo general, la eficiencia en la emisión de CO₂ tiene un efecto directo sobre el efecto invernadero y que su incremento se debe al incremento desproporcionado de la concentración de gases de efecto invernadero, cuyo mayores responsables son el sector industrial y el sector transportes, así mismo menciona que el 60% del calentamiento es por presencia de CO₂, el metano con 15% y cerca del 15% el dióxido nitroso (NO₂) y que su reducción depende del empleo de tecnologías alternativas que pueden ser (Aguilera, 2012):

- “Cambio de combustible con menor contenido de carbono por unidad de Energía”.
- “Empleo de energías renovables para generar energía eléctrica”.
- “Aplicación de medidas de ahorro y eficiencia energética que reduzcan la Intensidad energética del producto”.
- “Fomento en el uso de biocarburantes que se considera que tienen un efecto nulo sobre la concentración de CO₂ en la atmósfera”.
- “Aplicación de mecanismos de captura del CO₂”.

Menciona, que al analizar los gases atmosféricos incluidos dentro de ellos los del efecto invernadero es importante identificar las fuentes, sumideros y ciclo de vida de cada uno de ellos y dice también que los gases de efecto invernadero tienen diferente tiempo de vidas medias en la atmósfera.

También, menciona que las formas de disminuir la contaminación ambiental es la captura y secuestro del CO₂ y plantea alternativas de la captura previa a la combustión, la captura posterior a la combustión, captura de CO₂ durante la combustión denominada oxi-combustión, transporte de CO₂ y almacenamiento del CO₂ (Blanco, 2008).

Menciona también que todas las tecnologías están en fase de desarrollo técnico económico y que la oxi-combustión es la menos experimentada, pero con un fuerte atractivo al vislumbrarse algunas ventajas como la necesidad de menor espacio, un menor consumo de agua y cero emisiones de NOx. (óxido de nitrógeno) Dice que el objetivo de la captura del CO₂ es producir una corriente concentrada de CO₂ que pueda transportarse fácilmente a un lugar de almacenamiento seguro. El Medio ambiente es un sistema formado por elementos naturales y artificiales interrelacionados y que son modificados por la acción humana.

Se trata del entorno que condiciona la forma de vida de la sociedad que incluye valores naturales, sociales, culturales que existen en un lugar y momento determinado; tiene como componentes los siguientes elementos:

- “Los seres vivos”.
- “El suelo”.
- “El agua”.
- “El aire”.
- “Los objetos físicos fabricados por el hombre”.
- “Los elementos simbólicos (como las tradiciones, por ejemplo)”.

También tiene otro tipo de elementos o factores como:

- “Físicos: Clima y Ecología”.
- “Biológicos: Población humana, la flora, fauna, el agua”.
- “Socioeconómicos: Actividad laboral, la urbanización, los conflictos sociales”.

Dice que se entiende la ecología como una noción vinculada al medio ambiente ya que se trata de la disciplina que estudia la relación entre los seres vivos y su entorno; en tanto se entiende como “ecosistema al conjunto formado por todos los factores bióticos de un área y los factores abióticos del medio ambiente, en otras palabras, es una comunidad de sus seres vivos con procesos vitales interrelacionados”.

Así mismo, dice que Desarrollo Sostenible “es aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin que por ello se vean comprometidas las capacidades de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades”, es decir, dice que implica poner en marcha todo lo que sea necesario para cubrir las demandas de la sociedad, pero a nivel de exportación de recursos consciente y respetuoso para con el medio ambiente natural.

Es un concepto relativamente nuevo, tiene tres reglas o condiciones:

- “Ningún recurso renovable deberá ser usado a un ritmo superior al de su generación”.
- “Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo mayor al que pueda ser reciclado neutralizado o en su defecto absorbido por el medio ambiente”.
- “Ningún recurso no renovable deberá ser aprovechado a una mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible”.

2.1.3 Norma ASME PTC 41

El resumen de la norma “The ASME Boiler and Pressure Vessel Code and international Code Rules for construction of heating Boiler” (2005) tiene como objetivo proveer los lineamientos para un correcto cálculo de la combustión y la eficiencia en los calderos. De tal manera, que sirva para desarrollar un estudio sobre la selección y diseño de calderas para optimizar los costos.

Actualmente, “para diseñar una caldera, los fabricantes se apoyan “en relaciones entre la capacidad del caldero y la superficie de calentamiento (área donde se transfiere calor de los gases de combustión al agua)”. Esta suposición es arbitraria y es tendiente a “cambiar de acuerdo como avanza la tecnología en el campo de las ciencias de materiales y en la técnica de fabricación de los calderos”.

“La ratio que se usa solo limita “la cantidad de agua que la superficie va a evaporar. Ya que, esto no implica” necesariamente” que la evaporación de 34,5 libras de agua de 212 °F con

5 pies² es la capacidad límite del caldero. Además, al decir que el caldero es diseñado en base a la potencia base del fabricante, no se entiende que el caldero puede operar a más capacidad que su capacidad nominal. Sin embargo, operar a esta capacidad real podría reducir el tiempo de vida de la caldera, pero es un dato importante para el diseño de futuras calderas al momento de estimar la superficie de transferencia de calor”.

“Por otro lado, también se explica “que la eficiencia de la caldera está relacionada altamente con la eficiencia del horno y del hogar”, y también “debido al proceso de calentamiento del vapor. Por lo cual es de mucha importancia tener un método de cálculo de la combustión química del combustible usado. El cálculo de la capacidad y eficiencia real de los calderos, se basa en la recomendación del ASME en su publicación ASME PTC-4.1 Steam Generation: Power Test Codes”.

“El objetivo es proveer las pautas para el cálculo de la eficiencia real en las Calderas usando el método que recomienda la norma ASME PTC-4.1. Brindando información sobre el cálculo de la capacidad en la combustión y eficiencia real en las Calderas Comerciales”. Por tanto, el desarrollo se enfoca en el análisis de Kitto y Stultz y en las recomendaciones que se reflejan en el Código ASME PTC-4.1. Para ello es necesario desarrollar el marco teórico que ayude a comprender sobre el diseño de un intercambiador de calor, las consideraciones para el diseño y construcción de estos. Luego, se detallará los métodos y cálculos para determinar la eficiencia y la capacidad de combustión mediante ensayos en las calderas”.

2.1.4 Criterios de diseño de una caldera

El autor “describe los criterios de diseño que se deben tener al calcular una caldera. Requiere definir la energía de entrada para los requerimientos del vapor requerido, temperatura inicial del agua y una eficiencia asumida de la caldera”. (Kitto y Stultz, 2005) dice lo siguiente:

- Debe evaluar la absorción de energía necesaria en el caldero y los otros componentes del intercambiador de calor.

- También calcular desempeño de la combustión al establecer el tipo de combustible y cantidad de flujo de aire y gas requeridos.
- “Determinar el tamaño y la forma del horno, considerando los requerimientos de espacio y localización de los quemadores o de los otros sistemas de combustión. Estas dimensiones deben incorporar el suficiente volumen en el horno para la combustión completa del combustible y la poca emisión de contaminantes”.
- “Determinar la configuración de las superficies de convección”. Los sobre calentadores y recalentadores deben ser localizados donde la temperatura del gas sea lo suficientemente alta para producir una transferencia de calor efectiva. Todas las superficies de convección deben de estar diseñadas para minimizar el impacto de las escoras o de las cenizas, de tal manera que se mantenga la superficie limpia y no exista erosión en las zonas presurizadas.
- “Se debe tener suficiente superficie en la caldera, de tal manera que el vapor no sea generado en las paredes del horno”.
- “El diseño de los componentes a presión debe estar en concordancia con sus propiedades mecánicas”.
- “Suministrar suficiente gas regulado o calentar la cámara de combustión, caldera, sobre calentador y recalentador”.
- “El diseño mecánico del equipo debe considerar cargas externas, tales como fuertes vientos o movimientos sísmicos”.

a) Metodología de diseño

El autor dice que “en ingeniería es importante conocer las metodologías de diseño para obtener las especificaciones deseadas en un sistema; como, por ejemplo: la geometría, performance, tamaño o hasta el tipo de fabricación, entre otros”.

También menciona que, en el campo de la transferencia de calor, la metodología de diseño es muy compleja, se puede organizar en las siguientes etapas:

- “Formulación del problema”.
- “Conceptos del desarrollo, selección de diseños factibles y diseño preliminar”.
- “Diseño de detalle del intercambiador”.
- “Construcción”.
- “Consideraciones para operación y mantenimiento”.

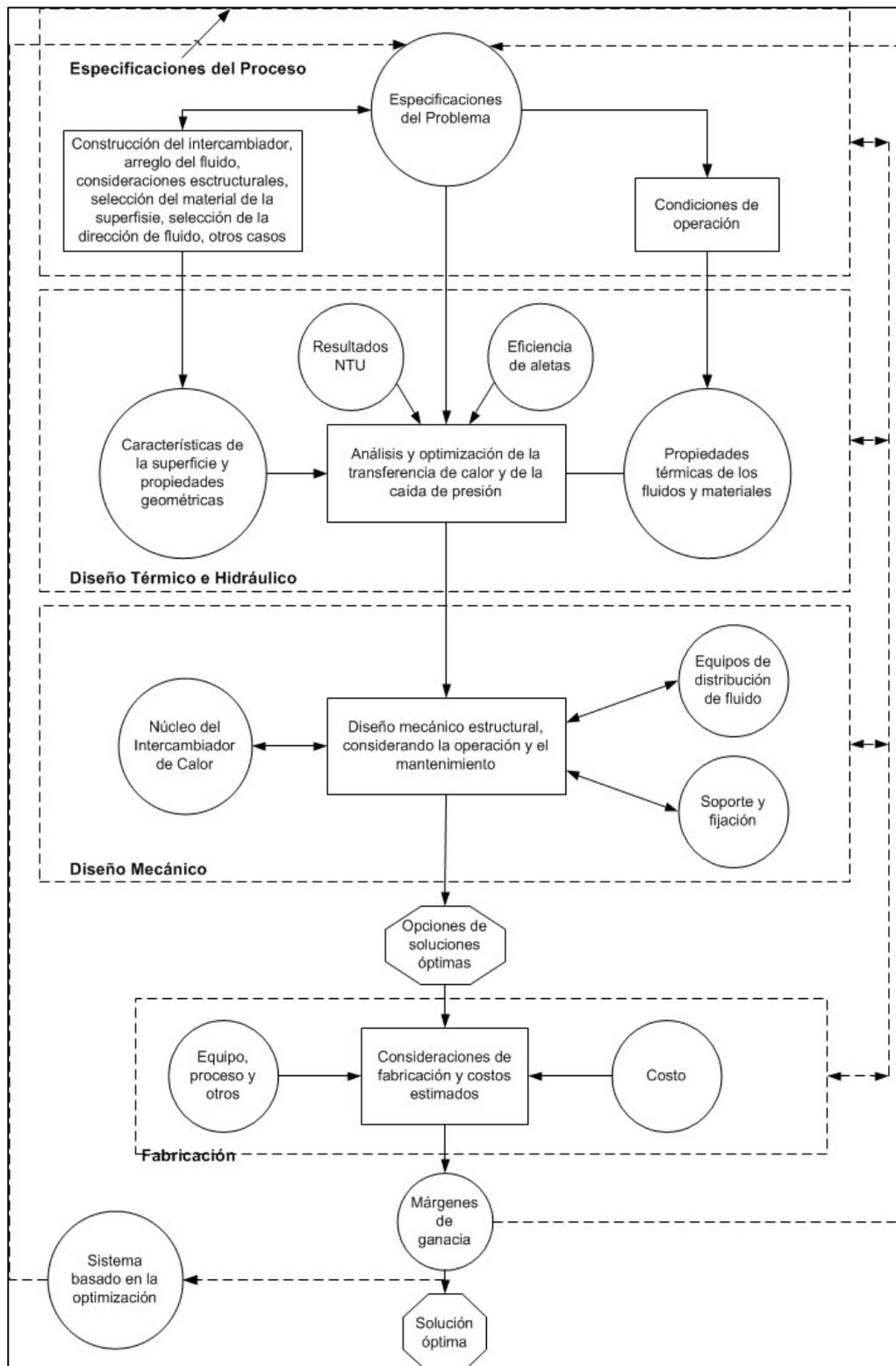
Menciona que “Una vez definido este objetivo, se evalúa las alternativas de diseño, y basado en ese análisis se hace la ingeniería de detalle con el objetivo de optimizar la geometría y el costo del equipo considerando el tipo de fabricación”.

Refiere que “la metodología para el diseño de un nuevo intercambiador de calor está basada en la experiencia de ingenieros y empresas que construyen calderas. La mayoría de estos tipos de diseño incluye”:

- “Especificaciones de diseño y proceso”.
- “Diseño térmico e hidráulico”.
- “Diseño mecánico”.
- “Consideraciones de fabricación y costos”.
- “Márgenes de ganancia y sistemas basados en la optimización”.

Figura 11

Diagrama de la Metodología de diseño de un intercambiador de calor



Nota; Diagrama de flujo sobre la metodología de diseño de un intercambiador de calor

Fuente: Shah y Sekulic, 2003.

2.1.5 Métodos para el cálculo de eficiencia de calderas

La norma ASME PTC-4.1, presentan dos métodos para calcular la eficiencia:

- Método de “Input-Output”
- Método por pérdida de calor

2.1.5.1 *Input-Output*

“El método Input-Output es un método directo para calcular la eficiencia, y su definición es la siguiente”:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Calor absorbido por los fluidos de trabajo}}{\text{Calor del combustible} + \text{Ganancias de calor}}$$

“El otro método propuesto por la ASME es un método indirecto, ya que el fin es calcular las pérdidas de calor, asumiendo que el resto de calor fue absorbido por los fluidos de trabajo. La definición del método por pérdidas de calor es la siguiente”:

$$\text{Eficiencia} = 1 - \frac{\text{Pérdidas de calor}}{\text{Calor del combustible} + \text{Ganancias de calor}}$$

2.1.5.2 *Por pérdida de calor*

Este método es similar al que usa (Kitto y Stultz, 2005), para calcular la eficiencia de la combustión.

“El siguiente procedimiento de cálculo es para determinar la eficiencia en bruto de una unidad de generación de vapor por el método de pérdidas de calor para las condiciones reales de funcionamiento” de la prueba. Es necesario considerar que “cuando se haga una comparación entre la eficiencia de prueba y un estándar o eficiencia garantizada, deben hacerse ajustes en los cálculos por la desviación de las condiciones de ensayo de las condiciones normales o garantizadas por ciertos créditos las ganancias de calor y las pérdidas de calor”.

Definimos la eficiencia:

$$\eta_g = 100\% - \frac{L}{H_f + B} * 100\%$$

Dónde:

η_g : Eficiencia neta [%]

L : Pérdida total del generador de vapor [BTU/(lb_{comb})]

H_f : Poder calorífico obtenido del combustible [BTU/(lb_{comb})]

B : Ganancias de calor [BTU/(lb_{comb})]

Las pérdidas de calor se pueden desagregar de la siguiente manera:

$$L = L_{UC}^* + L_{G'} + L_{mf} + L_H + L_{mA} + L_Z^* + L_{CO} + L_{UH} + L_{UHC} + L_{\beta} + L_p^* + L_d^* + L_r^*$$

Se usa una taza de combustible en este cálculo.

Donde:

L_{UC} : “Pérdidas por carbón sin quemar en los residuos, por lb del combustible suministrado [BTU/(lb_{comb})]”

$L_{G'}$: “Pérdida por calentamiento de los gases secos de combustible., por lb de combustible Suministrado [BTU/(lb_{comb})]”

L_{mf} : “Pérdidas por la humedad en el combustible suministrado, por lb del combustible suministrado. [BTU/(lb_{comb})]”

L_H : “Pérdidas por la humedad del hidrógeno quemado, por lb combustible suministrado. [BTU/(lb_{comb})]”

L_{mA} : “Pérdidas por la humedad en el aire, por lb de combustible suministrado [BTU/(lb_{comb})]”

L_Z : “Pérdidas por calentamiento del vapor atomizado, por lb de combustible suministrado [BTU/(lb_{comb})]”

L_{CO} : “Pérdidas por la formación de monóxido de carbono, por lb de combustible suministrado. [BTU/(lb_{comb})]”

L_{UH} : “Pérdidas por el hidrógeno no quemado, por lb de combustible suministrado. [BTU/(lb_{comb})]”

L_{UHC} : “Pérdidas por hidrocarburos no quemados, por lb de combustible. suministrado. [BTU/(lbcomb)]”

L_{β} : “Pérdidas por radiación y convección, por lb de combustible. suministrado. [BTU/(lbcomb)]”

L_p : “Pérdidas calentamiento de escorias, por lb de combustible. suministrado. [BTU/(lbcomb)]”

L_d : “Pérdidas sensibles por polvo en gases de combustión, por lb de combustible. suministrado. [BTU/(lb_{comb})]”

L_r : “Pérdidas por calentamiento en el rechazo del pulverizador, por lb de combustible. suministrado. [BTU/(lbcomb)]”

L_w : “Pérdidas por el agua de refrigeración, por lb de combustible suministrado. [BTU/(lbcomb)]”

Las ganancias están definidas como aquel calor agregado al generador de vapor que no sea de la combustión.

$$B = \frac{B_{Ae} + B_{ze} + B_{fe} + B_{xe} + B_{mAe}}{W_{fe}}$$

Donde:

B_{Ae} : “Calor añadido por la entrada de aire desde los calentadores de aire [BTU/hr].”

B_{ze} : “Calor añadido por atomizar el vapor [BTU/h].”

B_{fe} : “Calor sensible añadido por el combustible [BTU/h].”

B_{xe} : “Calor añadido por los elementos auxiliares [BTU/h].”

B_{mAe} : “Calor añadido desde la humedad a la entrada del aire. [BTU/h].”

2.1.6 Desarrollo Sostenible

Al definir el desarrollo sostenible “Sostiene que un planeta limitado no puede suministrar de manera indefinida recursos que la explotación del sistema económico que tiene como objetivo en la máxima producción, la explotación de recursos en forma ilimitada; el consumo es insostenible, ello implica la necesidad de ir a un desarrollo con enfoque real que sea compatible con una racional explotación del planeta que permita mejores condiciones de vida, este enfoque puede ser considerado como desarrollo sostenible”.

En el informe de Brundtland de 1987, la Comisión Mundial del Medio Ambiente de la ONU creada en 1983 definió el desarrollo sostenible como “el desarrollo que asegura las necesidades del presente sin comprometer las capacidades de las futuras generaciones para enfrentarse a sus propias necesidades”.

La ONU tiene dos planteamientos para el desarrollo sostenible como son:

- “Satisfacer en el presente las necesidades para ello se debe fomentar la actividad económica para tal fin suministrando los bienes necesarios”.
- “Satisfacer en el futuro las necesidades para ello se debe reducir al mínimo los efectos negativos de las actividades económicas originadas por el consumo de recursos como la generación de residuos asimilables por las generaciones futuras”.

Menciona que el desarrollo sostenible tiene que reunir características para considerarlo como tal; en el aspecto económico se desarrollan las empresas sostenibles que deben lograr resultados positivos en el aspecto medio ambiental, social y económico; estas empresas tienen sus características como son:” Alcance estratégico, nuevas capacidades, productos y modelos de negocios, diálogo con las partes interesadas, compromiso del máximo nivel de gobierno y dirección de la empresa”.

La sostenibilidad considera como aspectos o rubros de mayor importancia la actividad económica sobre: Bosques, los pequeños estados insulares, la desertificación, la agricultura, la capa de ozono, el cambio climático, el agua, energía y recursos naturales, la biodiversidad y pesca excesiva, la protección del medio ambiente, la seguridad nuclear y todo aquello que permita preservar la vida en el planeta

2.1.7 Las Teorías alternativas del Desarrollo Sostenible

“Las teorías del Desarrollo Sostenible” sostiene que el desarrollo se produce en el contexto de una crisis económica que está relacionado a una de las teorías del desarrollo, sostiene también que el estudio de las sociedades campesinas es una fuente de inspiración para quienes estudian la teoría de la alteridad económica.

Se dice que quienes desean como objetivo el desarrollo están intentando declinarlo de otra forma, otros estudiosos llaman a rechazarlo e implementar perspectivas de progreso social. Se efectúa una reflexión sobre los valores económicos a través del desarrollo sostenible por la imperiosa necesidad de tomar en consideración la problemática ambiental y el reparto de la riqueza a nivel mundial.

Plantea la noción del ecodesarrollo que fue propuesta por Strong en 1972 para reactivar un diálogo entre el norte y el sur, después de la conferencia de Estocolmo.

En “el descubrimiento del tercer Mundo” siendo consciente del centrismo europeo prefiere el ecodesarrollo como “filosofía del desarrollo” intentando dirigirse a quienes formulan proyecto y laboran formalmente en el campo.

Las estructuras de la producción no conducen al desarrollo incluso si el crecimiento económico es importante y está acompañado de una modernización. Muy por el contrario, generalmente termina o culmina en un incremento de las desigualdades sociales, que, con responsables de buena parte del deterioro ambiental, por tanto, es posible afirmar que el “mal desarrollo” es un problema general.

Sachs menciona que existe un desacuerdo entre los sostenedores del ecodesarrollo y los defensores de la economía ecológica que no priorizan el fondo del problema, priorizando más las tareas o actividades asignadas; plantea que se debe hacer un uso más racional de la energía y de la materia. Este punto de vista le permite a Sach definir el ecodesarrollo como un “desarrollo de las poblaciones por ellas mismas, utilizando lo mejor posible los recursos naturales, adaptándose a un entorno que se transforma sin destruirlo”

También es importante mencionar que el interés por el ecodesarrollo, que está presente desde el principio en las sociedades campesinas se refuerza en las zonas urbanas a partir de los años en 1980.

Es importante mencionar que la prudencia es necesaria y no debe considerarse como la panacea al desarrollo local. Por tanto, el Estado aparece a menudo como un contrapeso a la presión de los intereses locales y ciertas cuestiones medio ambientales que deben ser abordados a otros niveles de organización político y administrativo

2.1.8 El Futuro es Ahora

El informe Mundial sobre El Desarrollo Sostenible 2019 en su documento El futuro es Ahora La Ciencia al Servicio del Desarrollo Sostenible sostiene que en el documento final de la Conferencia de Rio + 20 efectuado en el año 2012 titulado “El futuro que queremos” y también en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en el documento “Transformar nuestro mundo” decidieron apoyarse en científicos para que cada cuatro años puedan elaborar un informe técnico abordando los diferentes aspectos que implican la sobrevivencia de la vida sobre nuestro planeta y dentro de ellos la Ciencia y Tecnología como mecanismo impulsor, para ello es necesario aceptar que el desequilibrio actual entre las tres dimensiones del desarrollo sostenible (Sociedad, economía y ambiente) es importante para superar este inconveniente y poner en práctica medidas para lograr los objetivos del Desarrollo Sostenible.

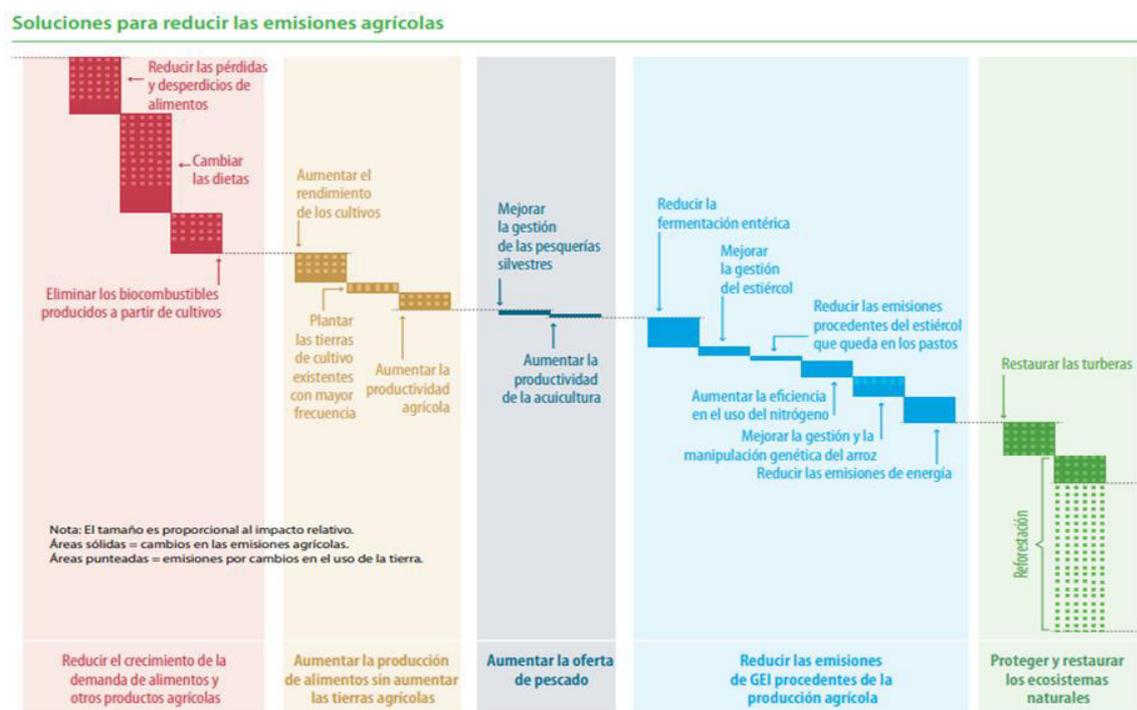
Es importante aceptar o conseguir que la ciencia debe estar al servicio del Desarrollo Sostenible que se puede conocer como la ciencia de la sostenibilidad que pueda ayudar a resolver conflictos relacionados con la aplicación de la Agenda 2030 esto se puede lograr reuniendo a la comunidad de científicos y todos quienes participan accesoriamente como los que formulan políticas, los que financian, así como los líderes de los conocimientos no especializados, también prácticos y comunidades autóctonas y otras partes involucradas que permita rescatar sus conocimientos y que permita ampliar la ciencia de la sostenibilidad de tal forma que las comunidades científicas se transformen y puedan producir y trasladar sus conocimiento con el objeto de lograr el desarrollo sostenible, para ello las Naciones Unidas generarían una plataforma que permita acceder a los conocimiento en todo el mundo, estos conocimientos internacionales como nacionales especializados deberán ser sintetizados a todo nivel para el aprovechamiento de las diversas comunidades, también deberían involucrarse a las universidades para que brinden cursos que consideren el Desarrollo Sostenible.

Es importante reconocer que el mundo necesita mucho de la ciencia de la Sostenibilidad desde el punto de vista académico para que permita colaborar en resolver los conflictos del desarrollo por ello es importante reconocer todo su potencial, estableciendo prioridades que permitan una transformación generalizada de la ciencia y sus aplicaciones.

Por tanto, la aplicación de la ciencia requiere que esta contribuya a la disminución de las emisiones de gases contaminantes en los diversos campos de la actividad humana. “Como se prescribe en el Objetivo 17, se necesitará una combinación de herramientas, actores y soluciones adaptadas a diversos contextos para lograr la transformación del sistema alimentario. La Figura 12 muestra un ejemplo de cómo se podrían combinar diversas iniciativas para alimentar a 10.000 millones de personas con sistemas alimentarios mundiales, lo que daría como resultado una enorme reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero”.

Figura 12

Diagrama de Soluciones para reducir las emisiones agrícolas



Nota; Diagrama que muestra que soluciones se puede implementar para reducir emisiones. fuente: Sprigman et al. 2018, World Resources Institute.

Esta opción podría constituir para impulsar la transformación de los diversos procesos productivos conducentes a satisfacer las necesidades de las sociedades humanas en el planeta.

Otro aspecto a considerar es el aspecto de la descarbonización energética y el acceso universal a las nuevas formas de energía se tiene como información que el acceso a la electricidad es limitado para 840 millones de personas que carecen de este servicio así mismo más de 300 millones de personas cocinan con combustibles sólidos contaminantes, originando muertes prematuras que bordean 3.8 millones de muertes prematuras por año, todo esto conduce a mejorar la eficiencia energética que reduzca la dependencia de los combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica, transporte y otros sistemas dependientes de estos combustibles que permitan el aceleramiento y expansión a gran escala las fuentes de energía descarbonizantes de tal forma que de ser técnicamente viable el suministro de energía limpia y

eficiente para todos y que no sea perjudicial para el clima también es importante considerar el aspecto económico que tiene una fuerte incidencia en el aspecto social.

También es importante resaltar que la ciencia y la tecnología deben estar al servicio del Desarrollo Sostenible y para ello los Gobiernos deben diseñar diversas políticas que permitan investigar a través de las universidades el acceso al conocimiento si no es aumentarlo, del mismo modo se debe mejorar la capacidad científica sobre todo en los países de bajos ingresos donde las comunidades académicas en sus diversas disciplinas deben movilizar, aprovechar y difundir todos los conocimientos con los que se cuenten con el objetivo de implementar de manera rápida los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La Agenda del 2030 tiene un concepto sobre el desarrollo sostenible en forma retrospectiva desde el año 2000 con la Declaración del Milenio que también tenía los llamados objetivos del Milenio, esto orientaban y tenían iniciativas relacionadas al desarrollo que deberían cumplirse en los primeros 15 años cuyos resultados permitieron planificar evaluaciones periódicas cada 15 años cuantificando sus resultados. En los resultados iniciales y sus interpretaciones se notaban las tres dimensiones bien diferenciadas en lo concerniente a la sostenibilidad: Económica, ambiental y social, siendo un objetivo importante de la Agenda 2030 la erradicación de la pobreza para ello es necesario involucrar diversos actores en los planos nacional e internacional así como la cooperación entre Gobiernos, instituciones, el sector privado, organismos y la sociedad civil, en diferentes lugares , niveles, sectores y fronteras.

También, el éxito dependerá de las soluciones que pueda brindar la tecnología como soluciones a muchos de los desafíos relacionados con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, pero tiene el inconveniente que pueda afianzar más las desigualdades que existen actualmente y podrían generar nuevas y puede afectar los considerados en la Agenda 2030.

Desde la revolución industrial el cambio climático se afectó por las diversas actividades humanas, alterando la atmósfera con los gases de efecto invernadero, principalmente la presencia de CO₂ que su efecto incidió en el incremento de la temperatura en 1°C como promedio y actualmente mantiene una tendencia de incremento que tiene como referencia de 1,5°C entre 2030 y 2052 con repercusiones muy importantes como fenómenos climáticos como huracanes, inundaciones e incendios forestales todo esto afecta y pone en riesgo los Objetivos de la Agenda 2030 que además de reducir la producción agrícola generaría olas de calor e inundaciones costeras, aumentando la extinción de la especies, la mayor preocupación es que de mantenerse las políticas y los compromisos actuales sobre producción que emitan gases de efecto invernadero, el calentamiento global causado por el hombre superará los 3°C a finales de este siglo, por lo que se estima por conveniente iniciar el proceso de reducción cuanto antes con profundas reducciones en particular el CO₂ para ello será necesario la implantación rápida de nuevas tecnologías que apoyen la reducción del calentamiento global mediante la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero

2.1.9 Construir un Futuro Mejor

El foro de los países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible en Marzo del 2021 menciona que la Agenda del 2030 requiere acciones que fortalezcan el desarrollo sostenible de acuerdo al cuarto informe en el que se menciona el progreso y los desafíos regionales pendientes en América Latina y el Caribe para el Desarrollo Sostenible donde dice que después de la crisis del 2008 que impone límites a la política monetaria y del endeudamiento y que la recuperación económica fue lenta por la recesión de gran magnitud de ese año; esta crisis fue endógena, generada por el sistema financiero multiplicando sus títulos sobre una base muy frágil de títulos que al final resultó especulativo y tuvo grave consecuencias sobre la economía de Estados Unidos.

Menciona que en el sistema global se enfrentan desequilibrios que se incrementan agudizando las tensiones políticas y también las geopolíticas, en consecuencia la cooperación se ve afectada por problemas de rivalidad que de alguna forma predominan sobre las reglas, estas acciones afectan la gobernabilidad y no se define que resultara como consecuencia al cambiar las capacidades en lo militar, tecnológico y capacidad productiva de los diversos países y que tienen como consecuencia protestas y demandas insatisfechas cuyo origen es la prolongada historia insatisfecha de necesidades que muestra como resultado muy nítido las tres crisis que se conocen como el crecimiento más lento, del comercio y de la economía mundial, el aumento de las desigualdades en la mayoría de países, y la amenaza a los patrones de producción contribuya a la estabilidad de los ecosistemas del planeta como resultado de estos problemas generados se erosionaron las reglas que buscaba ordenar el sistema internacional incrementando la incertidumbre e incrementado la desigualdad, la pobreza y el deterioro ambiental.

Expresa que es importante mencionar que la desigualdad es importante barrera como para la estabilidad y recuperación de la economía global que está conformado por los diversos países de planeta donde los beneficios se pueden distribuir por clases sociales y funciona del rendimiento económico de cada país y se desprende que el 1% de representa el sector más rico y esto genera el descontento de la globalización esto tiene como consecuencia un incremento de la inestabilidad política y descredito de las instituciones democráticas, la xenofobia y el racismo aun en sociedades de fuerte tradición liberal y alto grado de tolerancia.

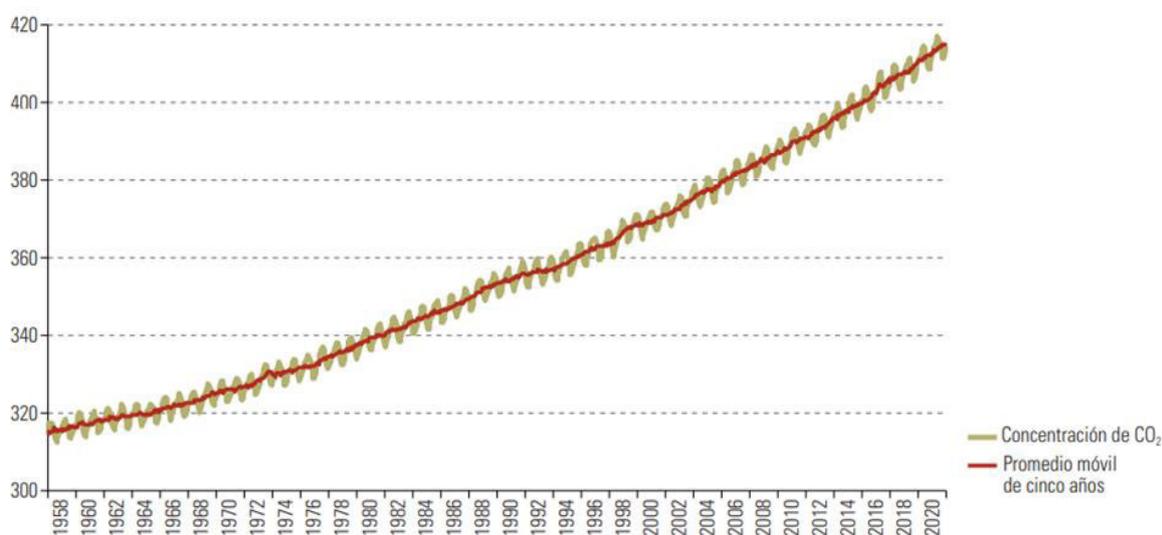
“La ruta actual del desarrollo está en el extremo de poner en riesgo la sobrevivencia del sistema ecológico que lo sostiene, debido a que los consumidores y productores que representan el mercado no pueden internalizar en sus sistemas los costos ambientales de tal forma que internamente conllevan un patrón insostenible de crecimiento que se ve reforzado por la crisis de salud originado por la pandemia”.

La ruta actual del desarrollo no ha medido las consecuencias que esto tendría, al extremo que ha puesto en riesgo la sobrevivencia de los seres vivos y del sistema ecológico, según el informe de CEPAL el consumo de combustibles fósiles o hidrocarburos que soporta la producción tiene como resultado que la concentración de Dióxido de Carbono (CO₂) se incremente en la atmósfera de forma permanente en el año 2020 hasta un valor de 415 partes por millón tal como se muestra en Figura 13 valor nunca antes alcanzado en los últimos 800,000 años y posiblemente en los últimos 3 millones de años.

Figura 13

Concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera y elevación de la temperatura terrestre-oceánica.

A. Concentración de CO₂ en la atmósfera, 1958-2020
(en partes por millón)



Nota: Concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera y elevación de la temperatura terrestre-oceánica. Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL,2002)

El diagrama anterior fue trabajado sobre la base de datos de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) (para la concentración atmosférica de CO₂) y de Instituto Goddard de Estudios (GISS), “GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP

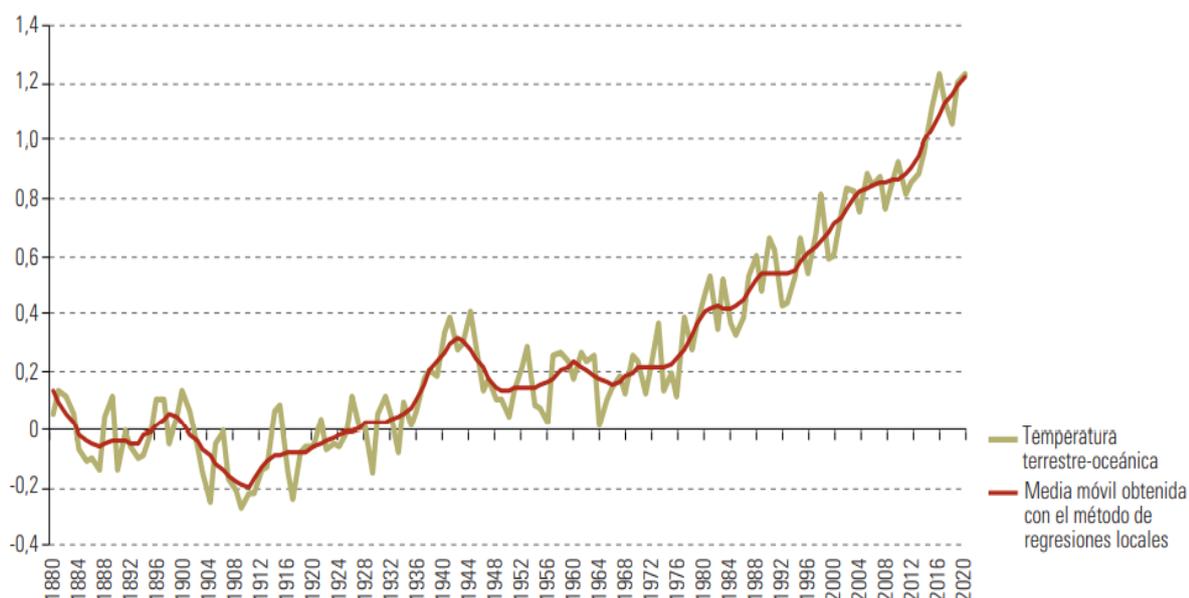
v4)” [en línea] data [giss.nasa.gov/gistemp/](https://data.giss.nasa.gov/gistemp/) [fecha de consulta: 25 de enero de 2021] (para la temperatura).

Se considera que la pandemia originó una caída en las emisiones de CO₂, de no considerarse, esta originaría en un incremento de la temperatura media en un valor superior a 3°C en el presente siglo; se considera que este valor es muy superior a la meta del Acuerdo de París que tuvo como objetivo limitar el incremento de la temperatura a un valor muy inferior a 2°C y que la meta más ambiciosa de que ese aumento sea menor a 1.5°C (PNUMA 2020) tal como se puede apreciar como varia la temperatura terrestre – oceánica en la Figura 14.

Figura 14

Variación de la temperatura terrestre – oceánica

B. Índice de temperatura terrestre-oceánica, 1880-2020
(desviaciones respecto del promedio 1880-1900, en grados Celsius)



Nota; Grafico que muestra la variación de la temperatura terrestre relacionado al océano en el periodo 1880 - 2020 Fuente: (CEPAL,2002)

El grafico de la figura anterior fue elaborado sobre la base de datos de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) (para la concentración atmosférica de CO₂) y de Instituto Goddard de Estudios (GISS), “GISS Surface Temperature

Analysis (GISTEMP v4)” [en línea] data giss.nasa.gov/gistemp/ [fecha de consulta: 25 de enero de 2021] (para la temperatura).

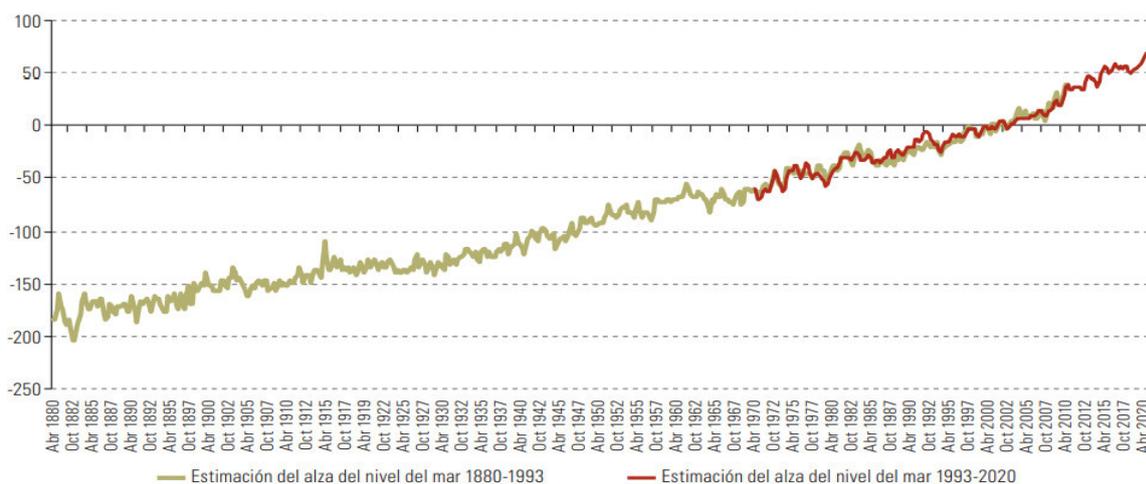
Del mismo modo conjuntamente a los cambios de temperatura originado por el deshielo debida a la expansión térmica que permite un incremento entre 21 y 24 cm desde 1980 según se observa en la Figura 15 cuya consecuencia es la disminución de las extensiones de hielo en ambos polos del planeta tal como se puede apreciar en la Figura 16.

También es posible afirmar que la pandemia nos muestra la creciente invasión del ser humano en los diversos ecosistemas del planeta. El Covid 19 es una muestra de las posibles consecuencias negativas de como el ser humano presiona sobre la naturaleza aumentando el aprovechamiento forestal y en el sector agropecuario degradando los ecosistemas generando que los microorganismos patógenos se transfieran con facilidad de los animales hacia el ser humano.

Figura 15

Elevación del nivel del mar y deshielo en el Ártico

A. Alza mundial del nivel medio del mar, 1880-2020
(en milímetros de diferencia respecto del promedio 1993-2008)



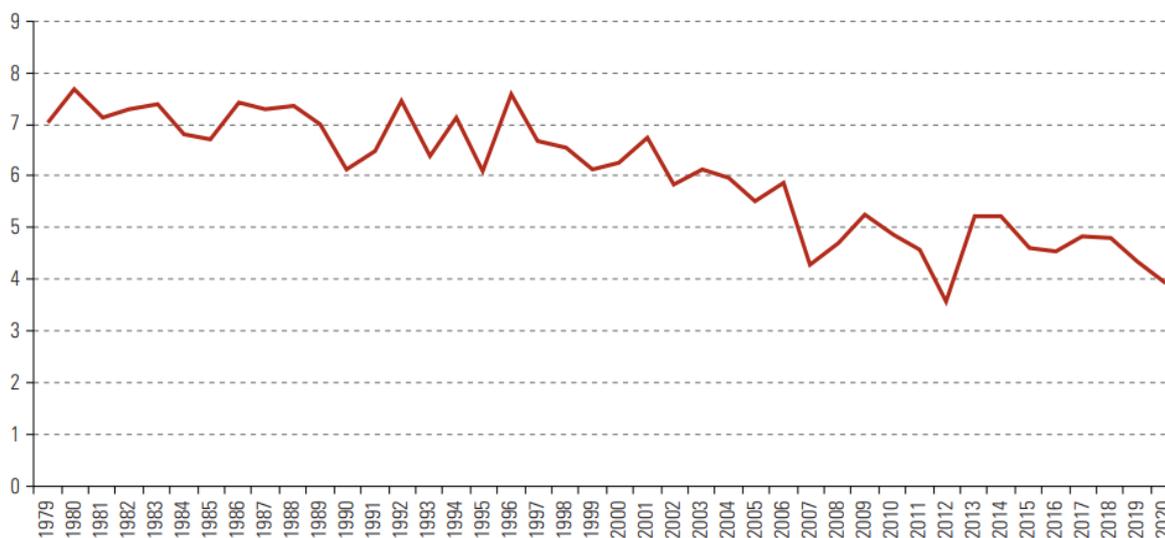
Nota: Grafico que muestra como la elevación del nivel dela gua de mar se da en el periodo 1880-2020. Fuente: (CEPAL,2002)

El gráfico anterior fue elaborado sobre la base de datos de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) y el Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos (NSIDC)

Figura 16

Disminución de la extensión de hielo en el Ártico

B. Extensión mínima de hielo en el Ártico en septiembre, 1979-2020
(en millones de kilómetros cuadrados)



Nota: Grafico que muestra como la extensión del hielo en el artico ha disminuido en el rango de tiempo 1979- 2020 Fuente: (CEPAL,2002)

El diagrama anterior fue elaborado sobre la base de datos de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) y el Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos (NSIDC)

Así mismo es necesario mencionar que la digitalización es un factor preponderante en la crisis de salud originada por el Covid 19 y nos muestra las debilidades de la digitalización en diversos sectores o países del planeta y es claramente notoria las diferencias como consecuencia de las debilidades estructurales de cada país con más notoriedad en países de Latinoamérica y el Caribe en países como Bolivia (país plurinacional) y Perú donde al inicio de la pandemia la conectividad solo alcanzaba al 3% de la población. En esta dirección se hace

más relevante la necesidad de reducir las brechas productivas, digitales y de capacidades considerando que la recuperación y transformación de las estrategias de desarrollo de los países de la regiones afectadas, estas tecnologías deben ser utilizadas para construir un nuevo futuro que permita el crecimiento económico, la generación de empleo, la reducción de la desigualdad, y una mayor sostenibilidad de acorde al logro de los Objetivos de Desarrollo de la Agenda 2030.

Como es de esperar la crisis ambiental no se detiene y se ven afectados los ecosistemas terrestres, marinos que están sobre explotados presentando altos niveles de contaminación y acidificación, por lo que es posible afirmar que la protección del ecosistema es insuficiente y tiene como consecuencia la degradación del medio ambiente a nivel mundial y la pandemia originado por el COVID 19 es una demostración de la mala relación entre las actividades humanas y la naturaleza, con mayor notoriedad en América Latina y el Caribe por las actividades económicas y sociales que realizan originando la reducción de la biodiversidad y generando emisiones de efecto invernadero.

Según la pandemia originó una reducción del 7% en las emisiones globales; esta reducción sería aumentada debido a la fuerte caída de la producción y las diversas medidas que reducen la actividad económica que permitirían llegar al 2030 con niveles de emisiones inferiores al 2019.

Dice que el incremento de la temperatura media global del planeta en 1,1 °C hace del planeta vulnerable y el peligro son fenómenos extremos y desastres, una preocupación importante es la reducción de la criósfera, el incremento del nivel del mar los incendios forestales y los fenómenos hidrometereológicos extremos que tienen efectos perdurables en la economía; siendo una de ellas el incremento de la desocupación y pobreza, el deterioro de los bosques, la biodiversidad y los océanos.

También dice que los residuos sólidos de tipo orgánico que se depositan en rellenos sanitarios de manera organizada son una contribución, sin embargo aún existen vertederos abiertos, botaderos ilegales, micro basurales y por tanto la infraestructura es insuficiente con preponderancia de los residuos plásticos y esto se observa con notoriedad en el mar del Caribe y los efectos de los micro plásticos en la salud son la preocupación que se incrementa en forma continua y recientemente el incremento es creciente debido a la pandemia del COVID 19 al mismo tiempo ha mostrado la debilidad estructural en el campo hospitalaria, es importante notar que la pandemia pone en mayor riesgo la integración de la Agenda 2030 para el Desarrollo sostenible

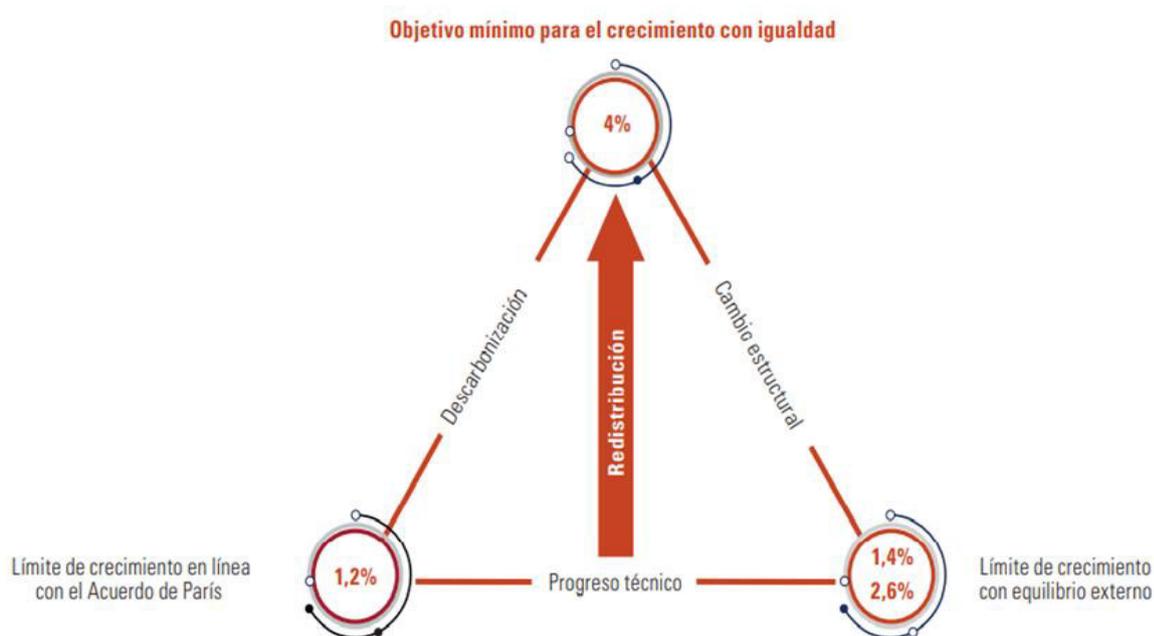
Menciona que la necesidad de resolver los problemas estructurales es una preocupación fundamental para CEPAL (2020 a) y considera necesario integrar las tres dimensiones fundamentales del desarrollo sostenible como son la social, la económica y la ambiental que representaría un modelo de brechas estructurales para lo cual se trabajaría analizando como tasas de desarrollo “la primera es el equilibrio de la balanza básica referida al equilibrio externo Y^E observando el comportamiento de la cuenta corriente y los movimientos de capital de largo plazo, la segunda tasa considera que para reducir desigualdad Y^S como la heterogeneidad estructural es necesario trabajar con política que permitan redistribuir con la creación y formalización laboral, así como la diversificación productiva, la tercera tasa está orientada considera que las tasas de crecimiento deben estar comprometidas con medidas de protección del medio ambiente que se define como la tasa de crecimiento compatible con la sostenibilidad ambiental Y^A

“El desarrollo sostenible requiere que las tasas de crecimiento consideradas anteriormente deben ser iguales según la siguiente fórmula $Y^S = Y^E = Y^A$, de ello se desprende que en una visión de largo plazo las tasas deben converger hacia un objetivo mínimo” tal como se muestra en la Figura 17.

“En el gráfico mencionado se observa la relación interdependiente del cambio estructural y la descarbonización para lograr un objetivo mínimo para un crecimiento con igualdad, teniendo como base el progreso técnico que las sociedades deben alcanzar para lograr un desarrollo sostenible”.

Figura 17

Políticas para el desarrollo sostenible



Nota: Gráfico que nos muestra las políticas que deben emplearse para el desarrollo sostenible Fuente: (CEPAL,2002)

Hace notar que para lograr un gran impulso y conseguir la sostenibilidad en sus tres dimensiones se considera la necesidad de combinar políticas para cerrar brechas siendo el progreso técnico y el cambio estructural importantes para generar la transición energética y la descarbonización dentro de ellas se deben considerar también las energías renovables no convencionales como son la biomasa, solar, geotérmica y biogás que representaron el 5% del consumo total de la energía primaria en América Latina y el Caribe valor superior al nivel

mundial que fue el 4% según CEPAL (2020 a) que considera la energía hidráulica como un factor renovable muy importante con el que se puede llegar hasta el 80%.

También se considera que la economía circular es importante en la sostenibilidad desde el punto de vista del desarrollo de la economía porque permitirá disminuir drásticamente el uso de materiales y la generación de desechos en diversos procesos productivos; para ello se hace necesario se requiere una aproximación integral con cambios en las políticas públicas.

2.2 Bases conceptuales

Con la finalidad de ilustrar mejor algunos conceptos desarrollados en el presente trabajo, son esclarecidos algunos conceptos, los cuales son descritos a continuación.

- **Generación de simultánea.** “Proceso que permita obtener al mismo tiempo dos o más productos a partir de una misma fuente”.
- **Generación de agua caliente.** “Proceso de calentamiento del agua desde una temperatura inicial hasta 99°C según establece el Código ASME y a condiciones ISO (1 bar de presión, 15 °C y a nivel del mar)”.
- **Generación de vapor.** “Proceso térmico de cambio de fase que se origina desde que el agua caliente (100 °C) realiza un cambio de fase a presión constante en condiciones normales (1 bar y 100 °C)”.
- **Calor.** “Energía en tránsito o en movimiento debido a la diferencia de temperaturas, originando cambio en sus propiedades microscópicas, desde un cuerpo a otro que se manifiesta de diferentes maneras”.
- **Transferencia de calor.** “Energía en tránsito en un tipo determinado de superficie de transferencia debido a una diferencia de temperaturas”.
- **Intercambiador de calor.** “Dispositivo donde sucede el proceso de intercambio de calor entre dos fluidos que están a diferentes temperaturas y separados por una pared sólida, uno a mayor temperatura que el otro”.

- **Calor específico (C).** “Cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta”.
- **Área de transferencia de calor (A).** “Superficie por donde transita el calor debido a la diferencia de temperaturas de un lado de mayor temperatura otro de menor temperatura de la superficie”.
- **Coefficiente global de transferencia de calor (U).** “Inversa de la resistencia térmica total para la transferencia de calor entre dos fluidos”.
- **Eficiencia en el intercambiador de calor (ϵ).** “Razón entre la transferencia real de calor para un intercambiador de calor y la transferencia de calor máxima posible”.
- **Caldera.** “Maquina térmica presurizada de intercambio de calor aprovechando el calor de la combustión generada por la combustión de un combustible y los gases de gases derivados de la combustión”.
- **Capacidad.** “Relacionado a la capacidad de producción de vapor a una presión requerida en una caldera, que es definida como la facilidad de una determinada superficie de transferencia de calor del caldero para generar vapor”.
- **Combustión.** “Proceso de oxidación exotérmica o endotérmica que se realiza a partir de un combustible que contiene una cantidad determinada de energía química, generando calor”.
- **Reducción.** “Es el efecto de disminuir la medida o dimensión de un factor que afecta a un sistema que se considera crítico”.
- **Equipo térmico.** “Máquina de accionamiento mecánico que emplea calor produciendo y transmitiendo calor y potencia”.

- **Ambiente.** “Conjunto de factores externos que rodea a un ser vivo (atmosféricos, climáticos, hidrológicos, geológicos, biológicos) y que también actúan sobre un organismo, una población o comunidades”.
- **Medio ambiente.** “Entorno que afecta a los seres vivos y al mismo tiempo condiciona sus circunstancias de vida y simultáneamente permite su desarrollo”.
- **Sostenibilidad.** “Es la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico el medio ambiente y el bienestar social”.
- **Desarrollo sostenible.** “Es la práctica de mantener los procesos globales de productividad reemplazando los recursos de forma natural como un triple resultado del conjunto de indicadores de desempeño de una organización en el campo ecológico, económico y social”.

2.3 Marco filosófico

Para buscar el significado de la vida es necesario conocer el origen de la misma sobre la tierra y quien o quienes la habitaron, entonces esta interrogante nos invita a mencionar que el origen de la vida en cualquiera de sus formas se inició en una base alimenticia porque sin la existencia de alimentos no es posible la subsistencia de la vida sino la inanición, lo cual supone la muerte. A partir de este análisis es posible deducir que la vegetación es el primer elemento que hace su aparición sobre la faz de la tierra y estuvo fastuosamente dotado de toda clase de árboles y plantas cuyos nutrientes eran los diversos minerales que conforman el planeta tierra.

Estos árboles y plantas hicieron posible la existencia de la vida sobre la tierra, generando las especies vegetales y animales, esta última puede clasificarse como racional y no racional. El racional, se relaciona con la vida del ser humano y cuyo origen no se conoce con precisión, por tanto, es necesario tratarla particularmente. El no racional, tal como lo expresan los diversos

estudios desde su origen hasta la actualidad se generó mediante un proceso evolutivo de largo aliento a través de los años, mostrando cambios físicos, que evidencian su aspecto evolutivo.

Respecto del origen del ser humano en la superficie de la tierra, no se conoce información precisa sobre la creación de la vida del ser humano, aunque podemos mencionar algunas conceptualizaciones sobre este tema, como: la católica, la evolucionista de Darwin y la teoría del origen extraterrestre a partir de la interpretación de la tablilla de los sumerios; estas teorías tienen puntos de confluencia que se sostienen entre ellas desde el simbolismo hasta el desarrollo científico.

Lo que es posible precisar es que el hombre descubre por casualidad el fuego, busca el mejor aprovechamiento de este hecho para su propio beneficio, probablemente en un inicio sirvió para la cocción de sus alimentos y colateralmente como fuente de calefacción, por consecuencia a medida que fue encontrando mayor utilidad su calidad de vida fue mejorando.

El beneficio encontrado en el proceso de combustión que originó el fuego, no tomó en cuenta los pros y contras que este proceso originaría, como, por ejemplo: el desarrollo industrial, energía calorífica primaria disponible, la contaminación ambiental, entre otros.

De lo anterior, podemos mencionar la creación de la máquina a vapor, hecho concreto que marca la primera revolución industrial, lo cual da origen a la formulación de teorías empíricas y prácticas casuales que buscaban maximizar el mejor aprovechamiento de energía primaria disponible, y de esta forma buscar el patrón del supuesto desarrollo industrial, pero a su vez la humanidad ha llegado a un estado de crisis ambiental, el cual es evidenciado en el efecto invernadero, el debilitamiento de la capa de ozono, los deshielos en marcha en los polos del planeta tierra, los deshielos de las cordilleras nevadas de diversas partes del mundo, los residuos atómicos, la basura no reciclable como los plásticos, la contaminación de ríos y mares, el incremento de la radiación solar, la aparición de nuevas enfermedades o el fortalecimiento

de muchas bacterias y su resistencia a las medicinas vigentes. Lo mencionado configuran la crisis ambiental que pone en riesgo la supervivencia del ser humano.

Podemos mencionar que la civilización tiene tres grandes olas. La primera ola es la Revolución Agraria que data de 10 000 años atrás, en la cual prevalece la sociedad descentralizada. La segunda ola es la Revolución Industrial que data de 300 años atrás, en esta la sociedad es centralizada. Por último, la tercera ola es la Revolución Tecnológica e Informática, que actualmente se encuentra en desarrollo y es conocida por ser descentralizada y globalizada, envolviendo a todas las sociedades de diferentes países, por lo que es conocida como Revolución Global.

No todos los habitantes del planeta somos seres humanos, tan afanosos en hacer desaparecer los vestigios de la naturaleza y rodearnos de rígidas moles de cemento. A menudo nos olvidamos de esos otros moradores, alados y ruidosos que, revolotean por los espacios abiertos de nuestras calles, y con los cuales es tan escasa nuestra familiaridad, que la mayoría de nosotros no sabemos distinguir entre la variedad de sus especies y desconocemos casi por completo sus costumbres cotidianas. También, podemos mencionar que no sabemos descodificar los mensajes que se envían a través de estas especies, los cuales se expresan a través de un lenguaje que desde la antigüedad se tenía como maravilloso, siendo beneficiados aquellos que lograron entenderlos. Por lo general, a lo mucho llegamos a dejar que estas especies capten nuestra atención, dejándolas de lado. De esta manera vivimos en mundos paralelos, que no llegarán a encontrarse, salvo que se produzca una de esas interferencias, o sincronías fortuitas con que la vida nos sorprende a veces.

De lo mencionado podemos establecer que la sostenibilidad a partir de la preservación de la vida sobre la tierra será posible si y solo si el ambiente donde se habita sea amigable por las acciones del hombre mismo y si la sostenibilidad de la vida y las fuentes alimenticias

diversas estén libres de contaminación, logrando un planeta que se autorregula y alcance un verdadero equilibrio.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La investigación propuesta es del tipo aplicada y Tecnológica porque aplica el conocimiento científico en bien de la sociedad y también es aplicada porque el uso del conocimiento y los resultados de la investigación dan como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. Enfocándose en los resultados experimentales, ver Anexo B.

La investigación científica es el progreso del conocimiento, tal como es el caso de la investigación aplicada que en estos casos no busca la calificación del conocimiento, sino el conocimiento útil. También expresa que el objetivo central de la investigación científica aplicada es mejorar el control del hombre sobre los hechos.

Es de Innovación Tecnológica por definición de la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Ley 28304) que en el Glosario de Términos Anexo N° 1 define Innovación Tecnológica como “La interacción entre las oportunidades del mercado y el conocimiento base de la empresa y sus capacidades; implica la creación, desarrollo, uso y difusión de un nuevo producto, proceso o servicio nuevo y los cambios tecnológicos significativos de los mismos; implica también cambios en la forma de organización y administración; métodos de organización, reingeniería de procesos planteamiento estratégico y control de calidad, etc.”.

3.1.1 Nivel de Investigación

Es correlacional porque las variables medidas corresponden a la misma unidad de análisis con los mismos participantes y determinan el grado de relación o asociación existente entre las variables

Debido a lo mencionado, la investigación ya se ejecutó, de ser una propuesta mixta, porque permite evaluar aspectos cualitativos, que investigan la generación simultánea de agua

caliente y vapor de agua, los cuales están relacionados al diseño de la caldera, aprovechando el calor disponible en la cámara de combustión, explorando el proceso de combustión, así mismo permite el control en la emisión de gases de efecto invernadero y también permite predecir sus consecuencias en beneficio de la sostenibilidad, y es cuantitativa por evaluar los residuos de la combustión para demostrar los beneficios ambientales que resulten de la caldera piro acuotubular (mixta) cuyos resultados se extraen de los datos y del proceso en el modelo matemático empleado, así mismo permite contrastar la hipótesis y expresa la profundidad del significado en los resultados obtenidos.

3.1.2 Diseño de la investigación

Por otra parte, el diseño de investigación es no experimental, debido a que las variables de investigación suceden de manera libre y no hay posibilidad alguna de poder manipularlas; de tal forma que no se tiene dominio sobre ella.

Es también transversal y mencionan que los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento o en un tiempo único que tiene como propósito descubrir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

3.2 Población y muestra

- La población considerada en este trabajo es el universo de calderas piro tubulares y acuotubulares.
- Muestra: No probabilística es tomada por conveniencia.

3.3 Operacionalización de variables

En la operacionalización de las variables se estableció una variable independiente y otra variable dependiente, con las respectivas dimensiones e indicadores conforme a lo siguiente:

Tabla 02*Variable Independiente*

Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Generación simultánea de agua caliente y Vapor de agua	Flujo de Agua caliente	° C	°C	Termómetro
	Flujo Vapor de agua	bar	bar	Manómetro

Nota tabla que muestra la variable independiente *Fuente; Elaboración propia*

Tabla 03*Variable Dependiente*

Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Reducción en la emisión de gases de combustión	Residuos de los gases de combustión	Masa	kg	Balanza

Nota Tabla que muestra la variable dependiente. *Fuente: Elaboración propia*

3.4 Instrumentos

Con la finalidad de realizar este trabajo, son utilizados los siguientes instrumentos, los cuales fueron documentados en (Aguilar, 2019). A continuación, serán descritos, detallando aspectos técnicos.

- Manómetro, tipo Bourdon, rango entre 0-200 psi, y con aproximación de 2psi.
- Termómetro, tipo Bimetálico, rango entre 0-150 °C, y con aproximación de 2 °C.
- Balanza, tipo Mirway, rango entre 0-130 kg, modelo BM105B, y aproximación de 1kg.

- Analizador de gases, que realiza el cálculo de %CO₂, %CO y %O₂
- Cronómetro.
- Combustible GLP.

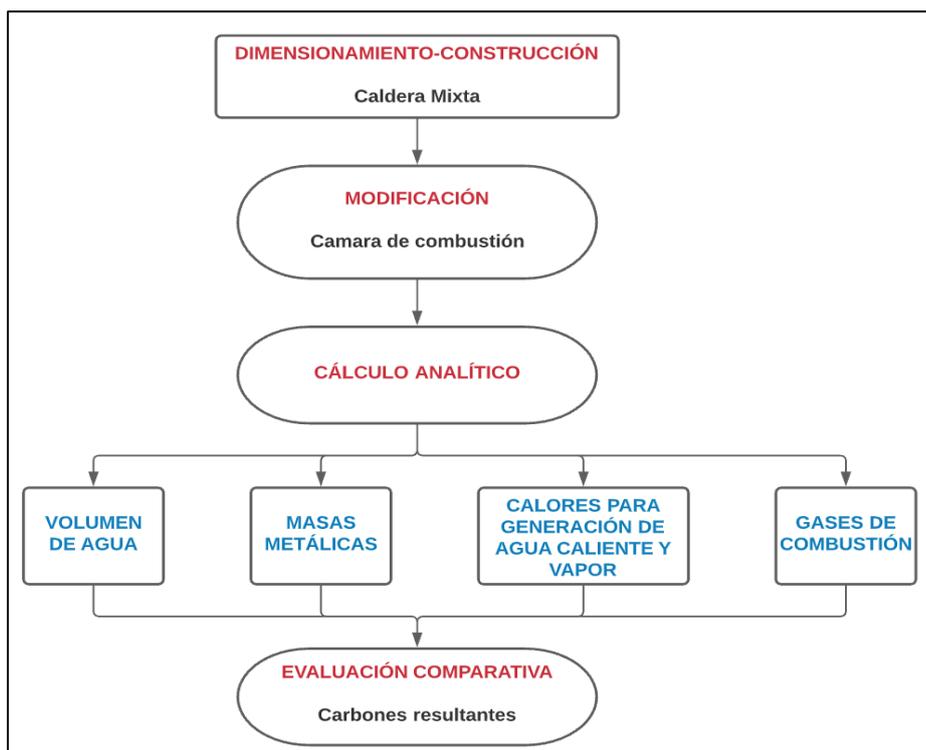
Además, para validar los resultados experimentales es desarrollado un modelo analítico para la evaluación de los gases de combustión.

3.5 Procedimientos

El presente trabajo considera el siguiente procedimiento, evaluando las siguientes etapas: Dimensionamiento-construcción, modificación, cálculo analítico y evaluación comparativa, como se muestra a continuación en la Figura 18.

Figura 18

Procesos del trabajo



Nota: Diagrama que muestra el diagrama de flujo de los procesos para el desarrollo de la investigación *Fuente: Elaboración propia.*

3.6 Análisis de datos

Los datos obtenidos para desarrollar la propuesta de tesis son fundamentados por conveniencia. Estos datos son obtenidos desde el trabajo de (Aguilar, 2019), considerando los datos obtenidos para el gas licuado de petróleo, GLP, ver Anexo B, para una mejor comprensión.

De esta manera, los datos son utilizados para correlacionar el modelo matemático, que considera la generación de agua caliente y vapor, evaluando la eficiencia de la propuesta de una nueva caldera mixta, que eleva la eficiencia de la misma, y añadiendo a la caldera un carácter sostenible.

Además, son evaluados los volúmenes de generación de agua caliente, vapor, y aspectos geométricos que definen a la caldera mixta.

3.6.1 *Diseño y dimensionado de la caldera piro acuotubular*

La presente tesis efectúa una segunda innovación tecnológica dada a partir del trabajo de investigación que se desarrolló en la Tesis de Maestría titulada, “Dimensionamiento y Construcción de una Caldera Vertical Mixta (Piro-Acuotubular) Multipropósito de Tres Pasos para Optimizar el Nivel de Eficiencia Térmica con Combustibles Alternativos” en la cual se logró conseguir un nivel de significancia del tipo I + D + I, (Investigación, Desarrollo e Innovación). Además, se pudo mencionar que en este equipo se generó en forma alternativa vapor o agua caliente durante las pruebas de medición efectuadas con tres tipos de combustible logrando eficiencias térmicas de valores elevados siendo el Gas Licuado de Petróleo (GLP) el más eficiente con 92.42% complementariamente se encuentra en trámite en INDECOPI para conseguir su patente en la categoría de Patente de Invención.

La presente tesis tiene la limitación en cuanto a la fase de desarrollo que corresponde a la etapa de construcción de la caldera, para lograr la opción de generar simultáneamente agua caliente y vapor de agua, para lo cual se empleará como información inicial lo desarrollado en

la Tesis de Maestría, de Aguilar Vizcarra, investigación que se extenderá, para obtener una segunda innovación tecnológica todos los cálculos son dados para el Gas Licuado de Petróleo.

Con el objetivo de establecer de manera efectiva un diseño que esté de acuerdo con los objetivos de la presente Tesis es necesario definir un tamaño de caldera, con una unidad de potencia. Para este fin se empleará como referencia la denominación establecida por la ABMA (AMERICAN BOILER MANUFACTURING ASSOCIATION) designada como BHP (Boiler Horse Power) que tiene un equivalente con la producción de vapor en lb/hr o kg/hr y en superficie de calentamiento en pies² o en m², para el dimensionado de los elementos sometidos a presión se empleará como base de cálculo lo establecido por el Código ASME.

3.6.2 Del diseño de la caldera definida

La propuesta de la presente tesis es desarrollar el diseño de una caldera vertical denominada piro acuotubular (mixta) esto es una combinación de “una caldera piro tubular que permite el recorrido de los gases de combustión por el interior de los tubos de una caldera piro tubular para generar vapor de agua y de una caldera acuotubular” porque permite el recorrido del agua por el interior de los tubos en proceso de calentamiento para convertirse en vapor. A continuación, mencionamos sus características:

La denominación piro acuotubular (mixta) tiene como resultado la combinación constructiva de dos intercambiadores de calor, donde los fluidos circulan; uno en flujo paralelo y en otro segundo en contraflujo. Lo mencionado supone una mejora en el estado de la técnica ya que presenta diferencias desde el punto de vista de diseño, construcción y operación, al ser de generación simultánea, porque puede producir paralelamente agua caliente y vapor de agua, con esta opción se reduce el equipamiento que un usuario pueda necesitar de ambos fluidos portadores de calor.

“La caldera vertical cuyo ensamble interno se realiza a partir de tres componentes fundamentales: cámara de combustión, cámara de agua y domo”. Este último “tiene una tapa

de protección en la parte superior, todos estos componentes son desmontables”, facilitando las actividades de mantenimiento y reparación por el menor tiempo empleado en el desmontaje y montaje de sus componentes. Externamente está protegido con un aislamiento térmico que a su vez está cubierto con una delgada plancha metálica que se denomina forro metálico.

“El Área de transferencia de calor, al asimilar el amplio recorrido de los gases de combustión alcanza un mejor aprovechamiento del calor de combustión” transferido por “los gases, lo cual influye en una mayor velocidad de calentamiento del agua, un menor consumo de combustible y un mejor aprovechamiento del calor de los gases de combustión. La mayor temperatura producto de la combustión se aprovecha en el domo” (en cuyo interior se genera vapor) con el objeto de ganar mayor velocidad en la generación de vapor, consecuentemente una mayor eficiencia térmica.

Por el mayor recorrido que efectúan los gases de combustión por el interior de la caldera se alcanza una mayor eficiencia térmica debido a que el calor de combustión es aprovechado radialmente lo que origina un doble aprovechamiento del calor de combustión. Además, la mejor combustión se logra que los gases de escape, producto de la combustión reduzcan al mínimo los índices de contaminación y una menor temperatura al medio ambiente.

La Cámara de combustión, en su interior contiene a una cámara de encendido (Hogar) y esta, en su superficie externa estará rodeada de agua que circulará para calentarse, esta configuración permite generar simultáneamente agua caliente y vapor de agua. Así mismo, la cámara de combustión en su parte superior “está provista de un sistema canalizado con una geometría apropiada tal que permite que los inquemados (elementos que no combustionan o residuos de una inadecuada homogenización) resultantes de una mala combustión queden atrapados y consecuentemente se evita su descarga al medio ambiente”.

Es una caldera vertical de 03 pasos porque los gases de combustión efectúan tres recorridos longitudinales en posición vertical a través de toda el área de transferencia de calor,

previamente esta área se ha subdividido en tres partes y al entregar su calor a estas tres partes del área de transferencia efectúa tres pasos (en concordancia con el Código ASME) de gases, girando 180° para cumplir los pasos, para salir finalmente por la sección circular de la chimenea. El uso del combustible puede ser alternativo es decir puede combustionar con combustible diésel, gas licuado de petróleo y gas natural.

3.6.3 Descripción del diseño

La concepción del diseño que a continuación se detalla consiste en una caldera vertical piro acuotubular (mixta) de tres (03) pasos con combustible GLP (Gas Licuado de Petróleo) que se describe dividiendo su conformación en 2 partes: interna y externa.

La parte interna consta de 03 secciones desmontables: una cámara de combustión, una cámara de agua y un domo.

3.6.4 La cámara de combustión

“Construida externamente en forma cilíndrica en plancha metálica e internamente contiene agua que circulará bañando externamente a una cámara de encendido u hogar, que estará instalada al interior de este cilindro, que en una determinada ubicación tendrá un ingreso circular en su parte central para el alojamiento del cañón del quemador; es decir, un ingreso con una cierta longitud para la instalación de un quemador, internamente la cámara de encendido es de forma cónica angular en forma de “L” deformada y externamente estará bañada por agua circulante que ingresará agua fría y se obtendrá agua caliente”.

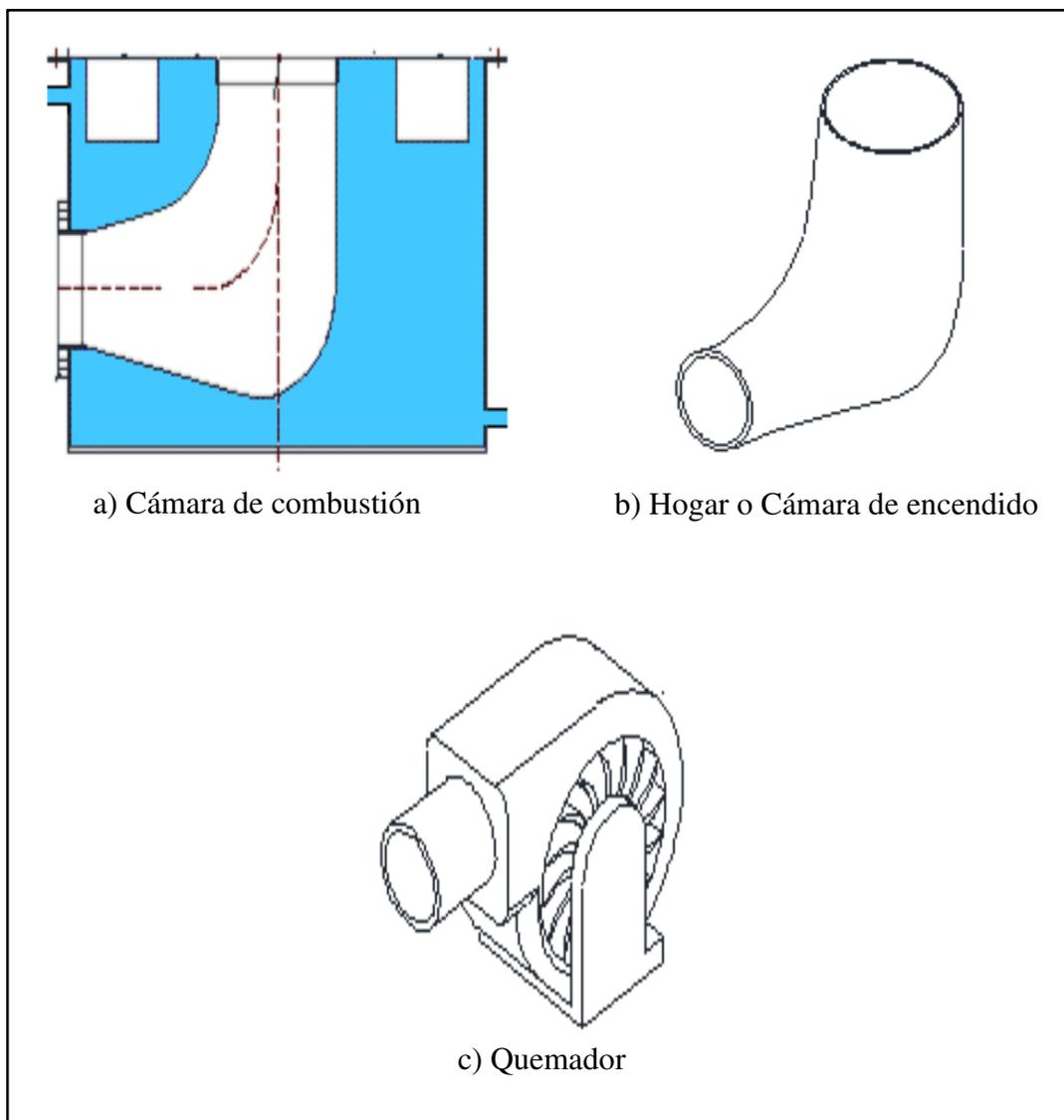
“También tendrá un canal circular en su parte superior cuya función es retener los residuos sólidos por posible combustión incompleta de tal forma que se evite emitir partículas sólidas o residuos de hollín al medio ambiente”.

“El canal circular ubicado en la parte superior tiene a sus costados 2 paredes de anchos diferentes que sirven para apoyar la parte inferior de la cámara de agua que apoyará su base circular sobre estas dos paredes circulares”. Como se muestra en la Figura 19.

“Externamente la cámara de combustión está provista de una brida circular en su parte superior para apoyo de la cámara de agua, de ancho y espesor previamente calculados, a lo largo de toda su circunferencia de la parte superior sobre cuya superficie se instala una empaquetadura en cinta plana que sirve como sello. Esta brida circular superior de apoyo de la cámara de combustión está provista de agujeros uniformemente distribuidos y calculados en función del tamaño de la caldera”.

Figura 19

Cámara de combustión y componentes.



Nota: Figura que muestra la cámara de combustión y los elementos que la conforman. Fuente: elaboración propia.

La Figura 19 muestra la Cámara de combustión que en su interior contiene al hogar o Cámara de encendido (b) y se muestra el quemador (c) cuyo extremo cilíndrico ingresará a la cámara de encendido, el color celeste en la figura (a), corresponde al agua contenida que ingresa fría y sale caliente

3.6.5 La cámara de agua.

Segunda parte a ensamblar sobre la cámara de combustión, mediante una brida circular inferior de apoyo de la cámara de agua con la brida circular superior de apoyo de la cámara de combustión.

“Esta cámara tiene como principio la aplicación de 02 tipos de intercambiadores de calor mencionados anteriormente, donde: Una primera sección interior denominada A y otro segundo exterior a la sección A denominada sección B, ambas son concéntricas y de diferente longitud en posición vertical”

La sección A (Figura 20) es de flujo paralelo y la sección B (Figura 21) de contraflujo ambas están construidas para lograr el mayor aprovechamiento del calor de combustión y la mejor circulación de gases y la evacuación de gases limpios y relativamente fríos al ambiente.

“La cámara de agua consiste en un sistema de cilindros verticales concéntricos (Secciones A y B) como se observa en la Figura 23 interconectados por cuyo interior circula agua y por el exterior circulan gases de combustión. Según el desplazamiento de los fluidos, con el objeto aprovechar la transferencia de calor en dos pasos de gases en forma radial, es decir, permite el doble aprovechamiento del calor simulando un intercambiador de calor de dos tipos de flujo. En uno inicial denominado sección A que aprovecha doblemente el calor de combustión en flujo paralelo, y en la sección B que es la segunda etapa de transferencia de calor, tiene internamente instalados en forma vertical unos tubos de acero que configuran el intercambiador de contraflujo, que permite la circulación de gases de combustión en sentido ascendente para evacuarlos al ambiente por una sección circular de una chimenea”.

“Externamente a los tubos de acero verticales al interior de la sección B en sentido descendente circula agua en proceso de precalentamiento que a continuación se describe con mayor detalle ambas secciones”.

“SECCION A, (Figura 20) se conforma de dos cilindros verticales de plancha metálica ubicados en la parte interior de la caldera, constituye la primera etapa de transferencia de calor se lleva a cabo entre el calor de combustión de la llama radiante que circula verticalmente por el interior del cilindro de menor diámetro denominado hogar en sentido ascendente, y configura el primer paso de gases o piro tubo, calentando el agua contenida en la sección A, que rodea externamente a este hogar cilíndrico”.

“Esta sección A está conformada por los mencionados cilindros verticales de plancha metálica siendo estas de igual longitud y diferente diámetro, y concéntricos, uno interior y otro exterior, en su parte inferior como en su parte superior tienen soldados un anillo metálico circular y, en su interior se contiene el agua en proceso de calentamiento configurando la parte acuatubular de la caldera, en el anillo superior se instalan unos tubos verticales de pequeña longitud que se conectan con la cara inferior del domo. El material empleado, es plancha de acero al carbono especialmente fabricadas para la construcción de calderas y los pequeños tubos son de acero al carbono especialmente fabricados para la construcción de calderas”.

“Por la cara externa del cilindro vertical exterior de plancha metálica de la sección A cuyo diámetro es mayor, se desplazan en forma descendente los gases provenientes del hogar y configura el segundo paso de gases o piro tubo haciendo una doble entrega de calor, es decir, por un lado, a la cara externa del cilindro vertical exterior de la sección A y por otro a la cara interna del cilindro vertical interior, de la sección B”. Como se aprecia en la Figura 20.

Figura 20

Componentes internos de la cámara de agua



Nota: Elementos de cámara de agua denominada SECCION A. Fuente: elaboración Propia.

“SECCION B, (Figura 21) se conforma cilindros verticales construida de dos planchas metálicas de diferente diámetro concéntricos entre ambos y de igual longitud, ubicados en el exterior de la sección A, ambos cilindros de la sección B son de mayor longitud que los cilindros de la sección A y en posición vertical constituye una etapa de transferencia de calor, el diámetro del cilindro vertical interior de la sección B es mayor al cilindro exterior vertical de la sección A”.

“Estos cilindros de la sección B tienen soldados en los extremos inferior y superior un anillo metálico circular, en el interior de los anillos metálicos a lo largo de la circunferencia están insertados unos tubos de acero verticales fabricados para la construcción de calderas, cuyo diámetro es menor que la separación de los cilindros verticales interior y exterior de la sección B que conforman este cilindro”.

“Por estos tubos de acero verticales instalados al interior de la sección B, que se unen a los de los anillos metálicos superior e inferior unidos en los extremos de los cilindros de la sección B, internamente fluyen los gases de combustión de abajo hacia arriba o en forma ascendente entregando calor y configurando el tercer paso de gases, externamente a los tubos fluye agua que inicia su proceso de calentamiento en forma descendente. El ingreso del agua

es por la parte lateral y superior de la sección B de la cámara de agua, y el intercambio de calor es en contraflujo, esto configura la parte piro tubular de la caldera”.

El sistema de comunicación de agua y gases de combustión con las secciones A y B anteriormente mencionadas son de la siguiente forma:

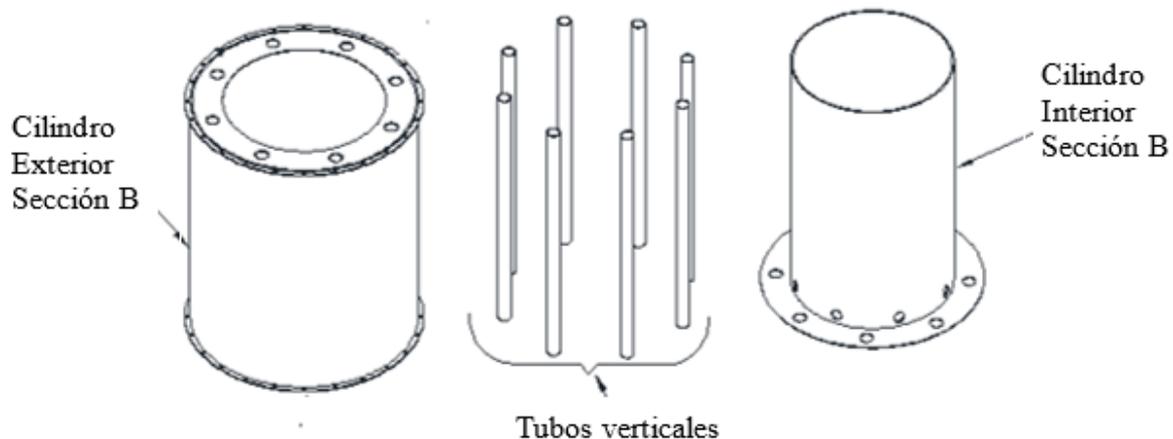
- a) En la parte inferior de cámara de agua, entre la cara interna del cilindro vertical interior de la sección B y la cara externa del cilindro vertical exterior de la sección A, hay una diferencia de diámetros como se mencionó, entre estos cilindros se instalan una pluralidad de tubos radiales, pequeños y horizontales para interconectar las secciones A y B de la cámara de agua, lo cual permite la circulación del agua a calentar.
- b) Entre la parte superior de la sección A, sobre el anillo metálico circular superior y la cara inferior del domo, se instalan unos tubos verticales de pequeña longitud que interconecta a ambos con el objeto de permitir que el agua ya caliente a mayor temperatura ingrese a la sección C denominado domo y a partir de esta acción se produzca agua caliente o vapor de agua.
- c) Las longitudes de los cilindros de las secciones A y B son diferentes y, por la parte superior de esa diferencia de longitudes circulan los gases de combustión provenientes de la cámara de combustión en forma ascendente por el hogar y serán obligados a girar 180° luego de chocar contra la cara inferior del domo y se desplazan en forma descendente configurando el segundo paso de gases o piro tubos.
- d) Del mismo modo los gases de combustión descendientes que chocaron contra la cara inferior del domo y giraran 180° bajando por el espacio entre las secciones A y B que configura el segundo paso de gases o piro tubos, descienden hasta chocar con el canal circular de la cámara de combustión girando 180° , a continuación ingresan y ascienden por los tubos de acero verticales instalados en el interior de la sección B, configurando

el tercer paso de gases o piro tubos los cuales se dirigen hacia la parte exterior del domo.

Finalmente salen por la sección circular de la chimenea. Ver Figura 21

Figura 21

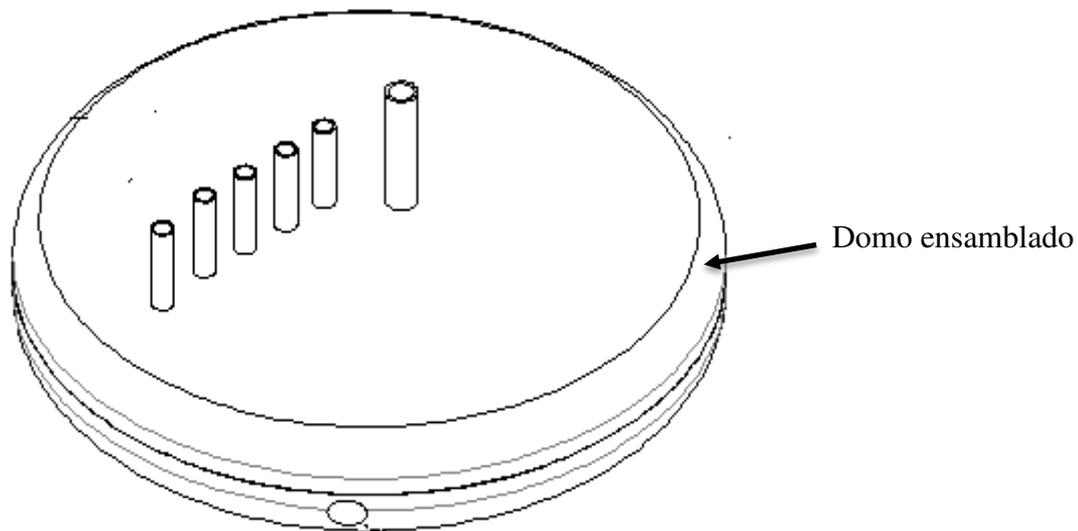
Componentes externos de la cámara de agua



Nota: Elementos que comprende la denominada SECCION B. Fuente: Elaboración propia

El domo: “Su función es almacenar agua caliente en proceso de evaporación y vapor de agua según como opere la caldera, está conformado por dos tapas circulares de conformación semi elíptica ubicados en posición horizontal que emplean como material, plancha de acero al carbono especialmente fabricadas para la construcción de calderas. Estas tapas circulares son soldadas y se conectan en su cara inferior con unos tubos verticales de pequeña longitud para la circulación del agua. Están instalados en la parte superior de la sección “A” de la cámara de agua, instalados sobre su anillo metálico circular; así mismo, en su área lateral tiene instalado un tubo de acero horizontal que conecta con una de las entradas del control de nivel que va instalado lateralmente en el exterior de la caldera”.

“En la tapa circular superior se conectan un conjunto de pequeños tubos verticales que sobresalen a la tapa del domo para instalar en ellos: una válvula de salida de agua caliente o vapor, una válvula de seguridad, un eliminador de aire, un manómetro y un control automatizado de presión denominado presostato y un termómetro. Ver la siguiente Figura 22.

Figura 22*Domo de la caldera*

Nota: Domo que almacena agua caliente y vapor de agua. *Fuente:* *Elaboración propia.*

3.6.5.1 La parte externa.

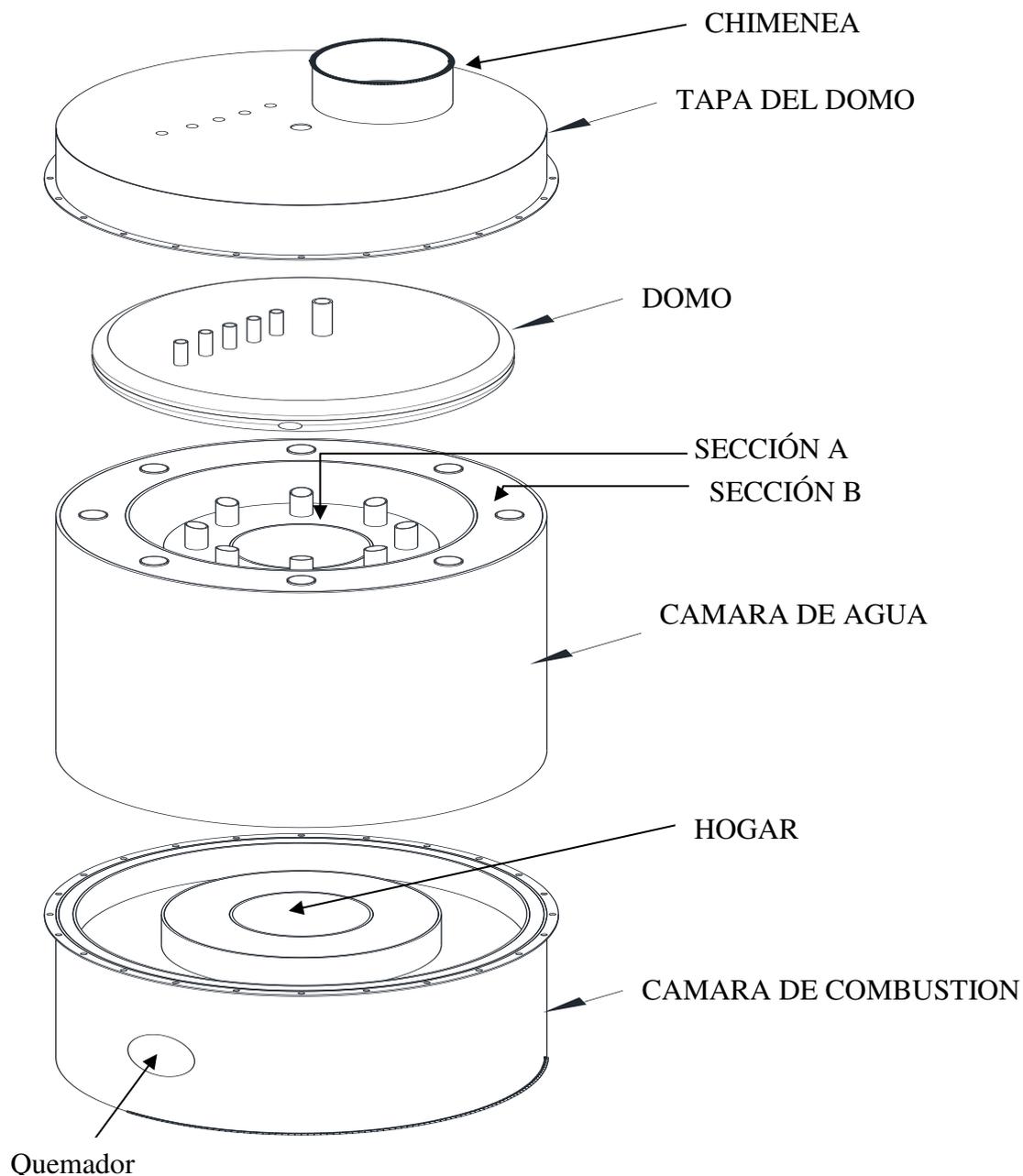
“Comprende materiales de protección para la cámara de agua, que externamente se encuentra protegida en toda su circunferencia cilíndrica y tendrá como aislamiento térmico una colchoneta de lana mineral, que a su vez está recubierta con una plancha metálica delgada de acero inoxidable o plancha de fierro galvanizado”.

“El domo, externamente se encuentra protegido con una tapa circular cilíndrica, y su interior es recubierto con aislamiento térmico, tiene como función canalizar el recorrido de los gases de combustión hacia la sección circular de la chimenea y permitir un mayor aprovechamiento del calor por las superficies del domo; en su parte inferior cuenta con una brida circular en toda su circunferencia que se ensambla con la brida circular superior de la cámara de agua mediante pernos uniformemente distribuidos a lo largo de toda la circunferencia en cuyo intermedio se inserta una empaquetadura en cinta cuya función es de absorber deformaciones y evitar fuga de gases al ambiente. Así mismo, estará cubierta con una capa de pintura anticorrosiva y pintura de acabado antitérmico”. Ver la Figura 23.

Todos los componentes de la caldera sin ensamblar se muestran a continuación en la figura 23, con excepción del aislamiento térmico y su forro exterior que debe cubrir la cámara de agua.

Figura 23

Componentes de la caldera Piro Acuotubular



Nota Caldera piro acuotubular mixta que muestra sus componentes a ensamblar. *Fuente: Elaboración Propia*

3.6.6 Del dimensionado de la caldera

Para efectuar el dimensionado de la caldera previamente se establece el tamaño de unidad a calcular o la potencia a trabajar, para lo cual, es necesario considerar como información inicial aquellos datos obtenidos en las mediciones experimentales efectuadas en el trabajo de Aguilar Vizcarra, estos datos experimentales presentan las mismas condiciones de flujo de combustible consumido, el cual está estrechamente relacionada a la potencia de caldera, y directamente relacionada con el área de transferencia de calor, y el flujo de vapor a generar en condiciones estándar (100 °C y 1 atmosfera de presión a nivel del mar).

En general, las calderas se dimensionan fundamentalmente a partir del área de transferencia, esto implica el cálculo de la cantidad de plancha metálica que se empleará en la construcción de la caldera para la transferencia de calor, sin considerar aquellas secciones de la caldera que no cumplen esta función.

Aplicando las equivalencias estandarizadas y establecidas por la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) se tiene lo siguiente:

1BHP (caldera) = 5 pies² de superficie de transferencia, como flujo de vapor se tiene 1 BHP = 34.5 lb de vapor/hr. La presión de diseño a la cual se calculará los espesores de las planchas metálicas es según criterio del diseñador o de las necesidades de temperatura del vapor. Además, el Número de paso de gases y la posición de la caldera, del mismo modo el tipo de combustible a combustionar.

En la tesis de Aguilar se efectúa el análisis de dos teorías relacionadas con el método de cálculo y dimensionado del área de transferencia. En ambos casos se considera la opción de la construcción de calderas piro-tubulares y acuotubulares, los cuales son mencionados a continuación:

1. “El establecido por ASME y la ABMA (1960) tomando como referencia el desarrollo de la ciencia de los materiales de 10 pies² desde 1930 y antes hasta la actualidad en 5.0 pies², asumido por los fabricantes de calderas”.
2. “Ganapaty que desarrolla un método a partir de la transferencia de calor priorizando la velocidad de desplazamiento de los gases, la caída de presión a lo largo del tubo y su aplicación en superficies aleteadas o sin aletas”.

Para fines del presente trabajo se asume la opción teórica del Código ASME y lo establecido por la ABMA por cuanto la unidad propuesta para su dimensionado es una caldera piro acuotubular que combina la opción piro tubular y acuotubular para lo cual es necesario establecer los parámetros y características necesarios con el objetivo de efectuar el dimensionado de una caldera que permitirá demostrar el aprovechamiento del calor de combustión con dos fluidos simultáneamente capaces de transportar calor, con las siguientes especificaciones técnicas, ver Tabla 4.

Tabla 04

Especificaciones técnicas

Diseño:	Piro acuotubular
Potencia:	15 BHP
Área de Transferencia:	75 pies ²
Flujo de vapor teórico:	517.5 lb/hr
Presión de Diseño:	110 psig
Presión de Trabajo Máxima:	100 psig
Posición:	Vertical
Número de Pasos de gases:	3
Combustibles a emplear:	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
Fluidos Térmicos Simultáneos:	Vapor de agua y agua caliente

Nota: Especificaciones técnicas de la caldera Piro tubular a diseñar. *Fuente:* *Elaboración Propia*

3.6.7 Dimensionado de la Cámara de Combustión

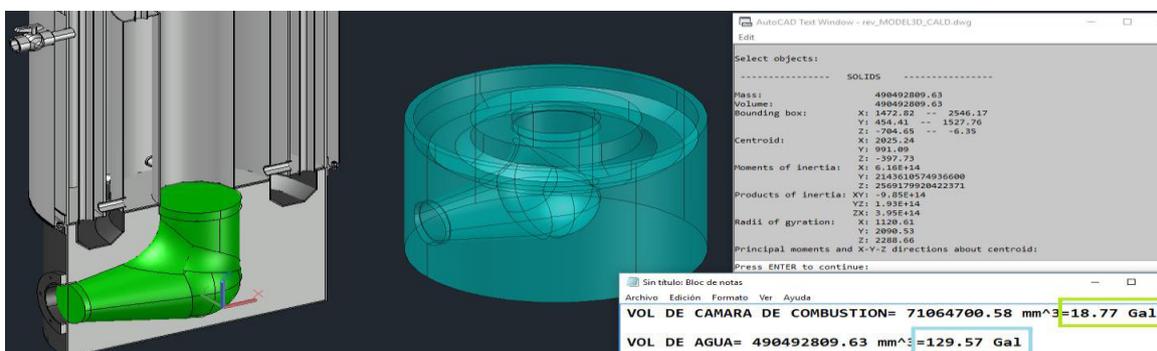
Las dimensiones de la cámara de combustión se establecen a partir dos criterios:

Primero se debe considerar el aspecto estético y uniformidad de sus dimensiones que permitan un adecuado ensamble con la brida de la cámara de agua para ello se ha considerado el diámetro exterior de la cámara de agua. También la altura exterior será calculada en función de las necesidades de la entrada del quemador y en la salida la coincidencia en diámetro con el hogar que se ubica al interior de la cámara de agua.

Segundo, este criterio es dado a partir de la circulación de los gases de combustión, con la finalidad de consolidar el recorrido de los tres pasos, para tal fin será necesario establecer un canal circular en la parte superior que permita el depósito de las partículas sólidas o inquemados producto de la mala combustión. Una consideración interna a tener en cuenta es sobre todo el desarrollo de la cámara de encendido u hogar cuya geometría volumétrica es compleja (L deformada) que es el lugar donde se inicia la combustión y allí es donde la llama radiante entrega su calor al agua que rodea a la cámara de encendido con un ingreso y salida independiente de agua caliente que puede ser aprovechado en diferentes usos. Para una mayor precisión se efectúa un cálculo en 3D mediante un programa computacional de CAD para mayor precisión, tal como se puede observar en la siguiente Figura 24.

Figura 24

Hogar en el interior de la cámara de combustión en 3D



Nota: Hogar de la caldera que detalla el interior de la cámara de combustión. Fuente:

Elaboración propia

3.6.8 Dimensionado de la cámara de Agua

En esta sección se efectúa el cálculo de los espesores de las planchas metálicas que constituyen el área de transferencia de calor que dentro de sus volúmenes cilíndricos contienen el agua en proceso de calentamiento, y el recorrido del circuito de los gases de combustión para configurar los tres pasos de gases

“Se establecen diferencias de radios en los cilindros verticales como se explicó en la sección anterior correspondiente al diseño. También, se asume el criterio del Investigador Ganapaty relacionado con la velocidad de los gases, el cual es reducir la turbulencia, disminuyendo el Numero de Reynolds y asimilando la velocidad en el rango de un fluido laminar, esto permitirá un lento desplazamiento de los gases de combustión y beneficiará en una mayor entrega del calor al fluido circulante en proceso de calentamiento y al estar los gases en contacto con dos superficies cilíndricas que contienen agua, se logra una entrega radial del calor en dos direcciones opuestas que significa una doble ganancia de calor”.

A continuación, se efectúa el cálculo y selección de los materiales de los tres componentes que conforman la parte fundamental de la caldera piro acuotubular.

3.6.8.1 Cálculo del espesor de la plancha y selección del material de los cilindros circulares.

De acuerdo al esquema de la caldera mostrado en la Figura 25, se procede a calcular los espesores de plancha, aplicando el código ASME en su sección VIII Mencionado por Eugene F. Megyesy las fórmulas para el cálculo correspondiente. La suma de las superficies cilíndricas incluido los tubos que configuran el tercer pase nos dan un valor de 75 pies².

Un objetivo inicial es determinar el diámetro de la continuación del hogar cuya longitud constituye el primer paso de gases, para eso se tiene como referencia lo siguiente:

“El hogar es un tubo cuyo diámetro debe estar entre un 40% y 50% del diámetro del espejo, la posición de este tubo o espejo depende exclusivamente del diseño, es decir que se

puede bajar o subir a lo largo del eje vertical “teoría formulada en la Enciclopedia Microsoft” Caldera Encarta 05 © 1999 – 2005 Microsoft Corporation y se determina que el diámetro óptimo de la continuación del hogar es 12 pulgadas, asegurando una adecuada transmisión de calor a ambas caras exteriores, que configura la zona acuatubular que corresponde a la sección A de la caldera. Ver Figura 25.

Para calcular las dimensiones geométricas de los cilindros, espesor del material, se utilizarán las secciones según las ubicaciones de los espesores cilíndricos. Para los recipientes que trabajan sometidos a presión interna se calculan con las siguientes expresiones, considerando los parámetros iniciales necesarios que permitan efectuar los cálculos adecuados y selección de los materiales de acuerdo a lo especificado en la norma técnica correspondiente denominada Código ASME

Presión de diseño (P) 110 psi = 0,758MPa

Esfuerzo de fluencia (S) = 13,800 psi = 93.8 MPa Para un acero al Carbono
ASTM 285 grado C

Eficiencia de la junta soldada = 0.85 (para juntas sin examinar)

R = Radio del cilindro (variable)

t = Espesor de la plancha.

La fórmula para recipientes sometidos a presión interna es: (Ver Ec. 4.1)

$$t = P \times R / SE - 0,6 P \dots\dots\dots (4.1)$$

La fórmula, para recipientes sometidos a presión externa (Pa) es: (Ver Ec.4.2)

$$Pa = 4 \times B / 3(Do/t) \dots\dots\dots(4-2)$$

Dónde:

B = Coeficiente obtenido del gráfico 3.1 UCS- 28.2 Ver (Anexo D)

Do = Diámetro Exterior

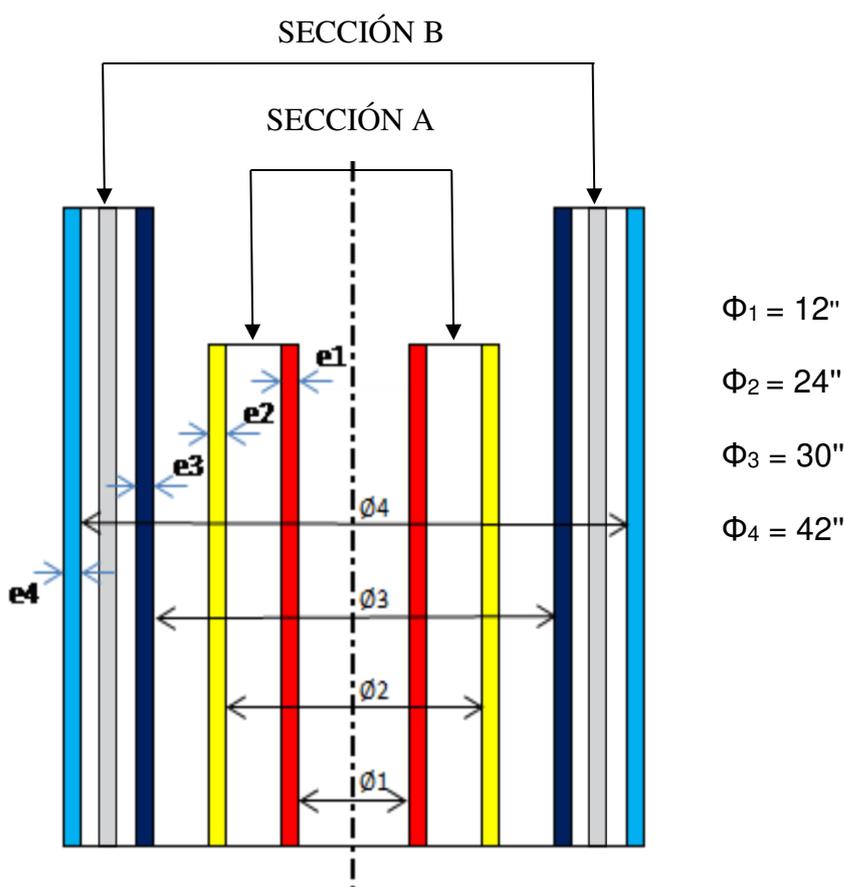
t = Espesor de la Plancha

L = Longitud de la parte cilíndrica.

En el esquema primario de la caldera, se encuentra la disposición de los cilindros en los que se calcularán los espesores que a continuación se muestra:

Figura 25

Corte longitudinal de la superficie cilíndrica de la caldera vertical



Nota: Muestra dimensiones de los diámetros de la cámara de agua. *Fuente:* Aguilar, 2019.

Los diámetros se han seleccionado con la finalidad de minimizar las pérdidas por fricción fluido-pared y teniendo en consideración el volumen de agua almacenada. Así mismo se ha utilizado el criterio de Ganapaty que menciona que los diámetros de tuberías en las calderas piro tubulares puede variar de 1.5 a 2.5 pulg. Teniendo en cuenta esta recomendación se consideran los diámetros de los cilindros con la finalidad de reducir las pérdidas por fricción de los gases de combustión.

A continuación, se elabora la memoria de cálculo de los espesores de las planchas a emplearse para las secciones circulares y también para las secciones elípticas, empleadas por Aguilar (2019).

a) Cálculo del espesor (e_1):

Según el código ASME para recipientes sometidos a presión externa y utilizando la ecuación

$$Pe = \frac{4 \cdot B}{3(D_o/t)} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$D_o = 12" = 304.8 \text{ mm}$$

$$t = 1/4" = 6.35 \text{ mm (asumido) que se verificará si soporta la presión definida.}$$

$$L = 40" = 1016 \text{ mm.}$$

$$\text{Calculamos previamente: } L/D_o = 1016/304.8 = 3,33$$

$$D_o/t = 304.8/6.35=48$$

Con estos valores obtenidos en el grafico 3.2 UGO-28.0 Ver (Anexo E)

Obtenemos un valor de $A = 0.0015$

Con el valor de A y tomando una temperatura del fluido hasta 900° F , obtenemos del gráfico el valor de B .

$$B = 6,600 \text{ del grafico 3.1 UCS 28.2 Ver (Anexo D)}$$

$$\text{Finalmente calculamos } Pe = (4 \cdot 6600)/(3 \cdot 48) = 183.3 \text{ psi} = 1.26 \text{ MPa}$$

b) Cálculo del espesor (e_2)

Sometido a presión interna y utilizando la Ecuación 4.4

$$t = \frac{P \cdot R}{SE - 0.6P} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$t = \frac{0,758 \cdot 304.8}{93.8 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 0,758} = \frac{231.03}{79.28} = 2.91 \text{ mm} = 3/16$$

S = Esfuerzo admisible del material (13,800 psi= 93.8 MPa)

E = Eficiencia de la junta soldada (0,85 para juntas sin examinar).

R = Radio del cilindro (12" = 304.8 mm).

P = Presión interna que soporta el recipiente (110 psig = 0,758 MPa).

c) Cálculo del espesor (e₃):

Sometido a presión externa, utilizando la Ecuación 4.5

Utilizando el código ASME según la fórmula

$$Pa = 4 * B/3(Do/t) \dots\dots\dots(4.5)$$

B = Coeficiente obtenido del grafico 3.1 UCS 28.2 Ver (Anexo D)

Do = Diámetro exterior (30 pulg = 762 mm)

t = Espesor de la plancha (5/16 = 7.93 mm) asumido

También:

L = Longitud del cilindro (46 pulg = 1168.4 mm)

Se calcula la relación Longitud / diámetro externo y diámetro externo/ espesor de la plancha, respectivamente

$$L/Do = 1168.4/762 = 1.53 \quad Do/t = 762/7.93 = 96.0$$

Con los valores calculados en el grafico 3.2 UGO 28.0, encontramos el valor de

$$A = 0.0009$$

Con el valor de A y considerando la temperatura hasta 300° F obtenemos el valor de B = 12 200 psi en el grafico 3.1 UCS 28.2 Ver (Anexo D)

Finalmente se calcula:

$$Pa = \frac{4*B}{3(Do/t)} = \frac{4*12200}{3(762/7.93)} = \frac{48800}{288.27} = 169.28 \text{ psi} = 1.17 \text{ MPa} \dots\dots (4.6)$$

d) Cálculo del espesor e4:

Sometido a presión interna y utilizando la ecuación 3.7

$$t = \frac{P \cdot R}{SE - 0.6P} = \frac{1 \cdot 533.4}{93.8 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 0.758} = \frac{533.4}{65.06} = 5.10 \text{ mm} = 1/4 \text{(4.7)}$$

De los cálculos realizados se selecciona como factor de corrosión 1.25 mm adicionalmente para conseguir el equivalente a una plancha de 1/4" ó 6,25 mm

S = Esfuerzo admisible del material (13 800psi = 93.8 MPa)

E = Eficiencia de la junta soldada (0.85 para junta sin examinar)

R = Radio del cilindro (533.4mm)

P = Presión interna que soporta el recipiente (110 psi = 0,758 MPa)

3.6.8.2 Cálculo del espesor de los anillos circulares e5. (Interior) y e6 (Exterior)

El recipiente está expuesto a presión interna, para lo cual se aplica según el Código ASME, la siguiente fórmula para el cálculo del espesor de la pared de los anillos circulares para ambos extremos de los cilindros circulares. Con la fórmula que sigue Ver Ecuación 4.8

$$t = \frac{P \cdot R}{SE - 0.6P} \text{(4.8)}$$

donde reemplazando y calculando se obtiene:

$$t_5 = \frac{0,758 \cdot 304.8}{93.8 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 0.758} = 2.91 \text{ mm} = 1/8" \text{ Adicionalmente, se añade un espesor de}$$

1/16" como factor de corrosión con lo cual se selecciona plancha 3/6" equivalente a 4,76 mm

S = Esfuerzo admisible del material (93.8 MPa)

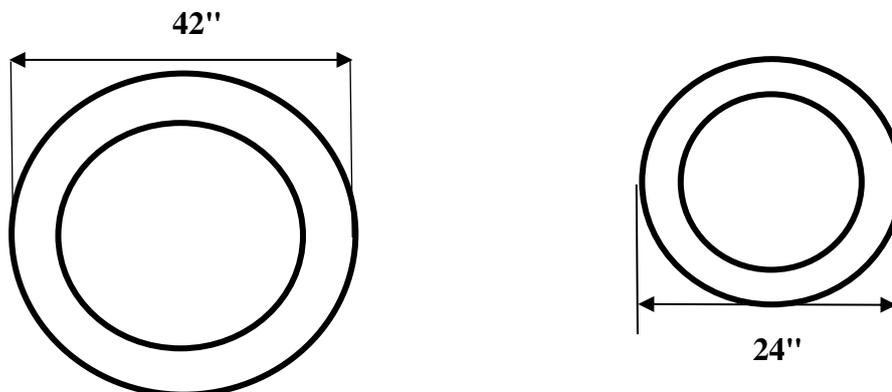
E = Eficiencia de la junta soldada (0.85)

R = Radio del cilindro (304.8 mm y 914.4mm) o 12 pulg y 36 pulg

Tal como es posible apreciar en la figura 26

Figura 26

Tapas circulares de los cilindros verticales



Nota Muestra las tapas circulares superior e inferior de los cilindros verticales de la cámara de agua *Fuente: Aguilar, 2019.*

$$t_6 = \frac{0,758 * 914.4}{93.8 * 0.85 - 0.6 * 0,758} = \frac{808.63}{79.28} = 10.20\text{mm} = 7/16$$

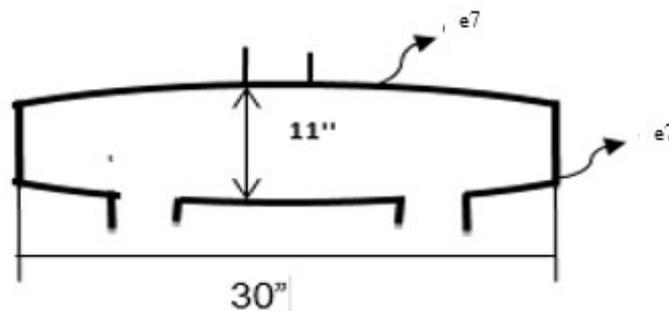
De los cálculos realizados se selecciona un factor de corrosión de 1/16" seleccionándose una plancha de 1/2" equivalente a 12.7 mm.

3.6.8.3 Cálculo del espesor e7: Domo de Tapas Elípticas.

En la figura 27 se observa la sección en la que el agua alcanza su valor establecido para generar el vapor de agua y posterior descarga a la zona de interés

Figura 27

Domo conformado por Tapas Elípticas

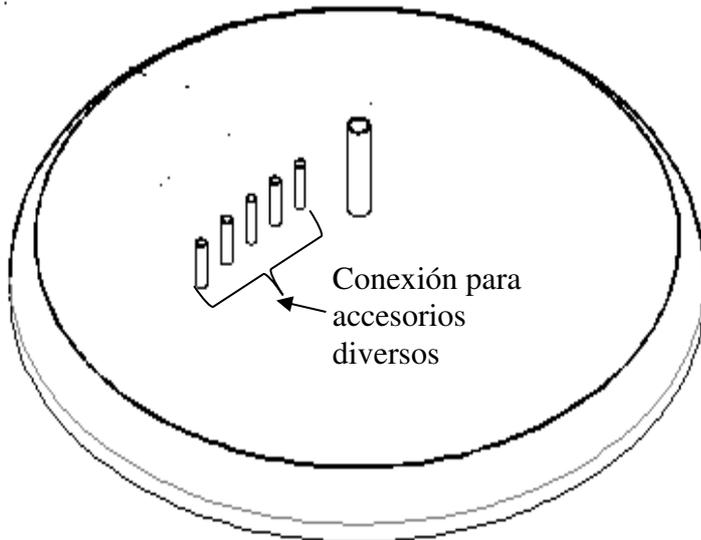


Nota: Domo conformado por Tapas Elípticas para almacenar agua caliente y vapor. *Fuente: Aguilar, 2019.*

El domo está conformado por la unión de 02 tapas circulares tal como se aprecia en las figuras 28 y 29, que se unen mediante un proceso de soldadura

Figura 28

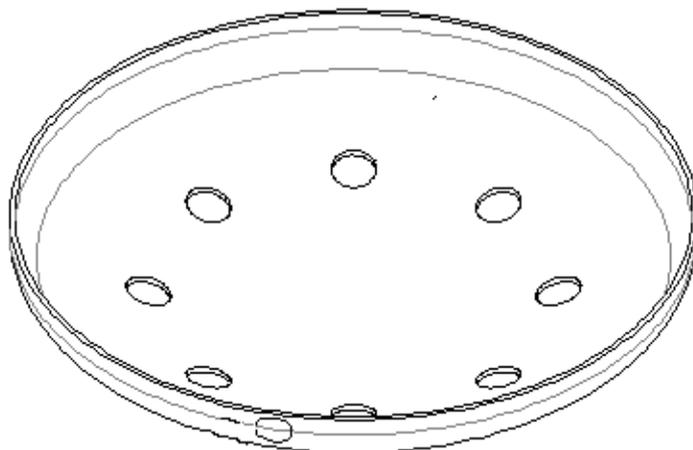
Cara superior del Domo



Nota: Cara superior del domo previo a su ensamble. Fuente: Aguilar, 2019.

Figura 29

Cara inferior de Domo



Nota Cara inferior del domo previo a su ensamble Fuente: Aguilar, 2019.

Para calcular el espesor de las tapas elípticas, sometida a Presión interna P_i empleará la siguiente fórmula:

$$T = \frac{P \cdot D}{2SE - 0.2P} = \frac{0.758 \cdot 762}{2 \cdot 93 \cdot 8 \cdot 0.85 - 0.2 \cdot 0.758} = \frac{577.6}{159.3} = 3.63 \text{ mm} = 3/16 \dots \dots \dots 4.9$$

Del cálculo realizado se considera un factor de corrosión de 1/16" y se selecciona una plancha de 1/4" ó 6,35 mm

S = Esfuerzo admisible del material (93.8 MPa)

E = Eficiencia de la junta soldada (0.85)

D = Diámetro del recipiente (30 pulg)

P = Presión interna de recipiente superior (110 psig = 0.758MPa)

3.7 El proceso de construcción de la caldera

El proceso de construcción de la caldera iniciará con la selección del material apropiado para ello se toma como información los cálculos y resultados obtenidos en la sección, de la siguiente forma:

- Tipo de material: Plancha de acero al carbono ASTM 285 C
- Espesor: 3/8" ó 9.5 mm
- Dimensiones de la plancha: En función de las dimensiones requeridas a partir de esto se cortará en tamaños menores y las cuales pueden ser de: 6 pies x 12 pies ó 5 pies x 10 pies.
- Tubos de caldera: Para pequeñas potencias los fabricantes y el Código ASME recomiendan 2" de diámetro.

Para el cálculo del área de transferencia de calor que es un valor definido previamente establecido se tiene en consideración el costo del material, el costo de los servicios como son el rolado y el bombeado de la cámara de vapor, teniendo en cuenta la necesidad de reducir al máximo los desperdicios.

La cámara de combustión y la sección de almacenamiento de líquido son construidas en forma separada y posteriormente serán ensamblados.

Para cumplir con el objetivo propuesto será necesario efectuar el siguiente procedimiento:

1. Distribución del área de transferencia en tres pases de gases.
2. Cálculo del volumen total de líquido a almacenar
3. Dimensionado de las planchas cuyo espesor se calculó previamente en la sección B.
4. Trazado, corte, rolado y soldado de las diversas secciones de la caldera.
5. Determinación del tipo de ensamble de las secciones previamente construidas
6. Selección de las empaquetaduras de sello.
7. Ensamble de las secciones prefabricadas mediante bridas de unión.
8. Prueba de hermeticidad denominada prueba hidrostática.
9. Instalación del aislamiento térmico.
10. Forrado exterior empleando plancha de Fierro Galvanizado.
11. Pintado.

IV. RESULTADOS

4.1 El Cálculo Térmico y los Gases de Combustión

El presente capítulo trata sobre la influencia de la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua en la reducción de la emisión de gases de combustión al medio ambiente y por tanto su incidencia en el efecto invernadero, el cual contribuye al desarrollo sostenible. Para cumplir tal objetivo se desarrolla un procedimiento de cálculo matemático para evaluar en forma conjunta y por separado la cantidad de calor que se requiere para generar simultáneamente agua caliente y vapor de agua.

De esta manera serán comparados y se establecerán sus diferencias entre uno y otro. Para tal fin será necesario establecer las necesidades de calor que requieren la masa metálica y el agua para generar agua caliente y vapor de agua, posteriormente se calculara en forma simultánea; a partir de la Ley Cero de la Termodinámica que establece “Si dos cuerpos a diferente temperatura entran en contacto entre sí, estos alcanzaran el equilibrio térmico luego de un tiempo de transferido el calor del de mayor temperatura al de menor temperatura” según esta Ley; para que se produzca agua caliente o vapor de agua la masa metálica y el agua contenida en el interior deben alcanzar el equilibrio térmico debiendo estar aislado exteriormente en forma total.

Para el cálculo del calor de los gases de combustión, se sigue un procedimiento que también calcula en forma independiente la cantidad de gases y carbón que se emite al ambiente y mediante un análisis comparativo se determinará su ventaja. A partir de este resultado obtenido se validará la hipótesis formulada.

4.2 Cálculo de Masas y Calores

4.2.1 *Cálculo de Masas*

Para el cálculo de la masa metálica de cada sección de la caldera: Cámara de combustión, cámara de agua y domo, como primer punto y como segundo punto se calculara

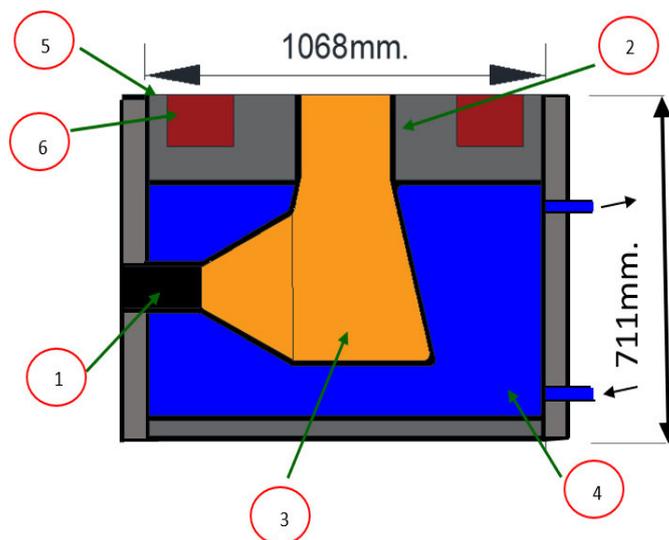
la cantidad de calor que requerirá el agua para las condiciones requeridas es decir agua caliente y vapor de agua, es necesario precisar que como ya se mencionó en el capítulo anterior (IV) externamente la caldera se encuentra totalmente aislada con material apropiado y este a su vez está protegida con una chapa metálica en su exterior, que evita su deterioro. Este aislamiento permitirá que las pérdidas de calor al medio ambiente sea el menor posible resultando en un mejor aprovechamiento del calor producido en la combustión y permitirá lograr una elevada eficiencia térmica

4.2.1.1 Cálculo de masas en la cámara de combustión.

La Figura 30 muestra una sección transversal de la cámara de combustión en la que se efectúa la combustión y el calentamiento de agua, el cual utiliza un quemador de combustible que para el objetivo del trabajo de investigación emplea Gas Licuado de petróleo (GLP). Complementariamente, son mostrados los componentes principales de esta cámara.

Figura 30

Esquema en corte de la cámara de combustión con dimensiones externas



Nota: Cámara de combustión que muestra las dimensiones externas y el contenido del agua a calentar. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30 la sección transversal de la cámara de combustión presenta las siguientes partes:

1. Alojamiento del quemador
2. Plancha metálica de separación del fuego entre el hogar y el agua
3. Fuego en el hogar
4. Agua a calentar
5. Aislamiento térmico
6. Espacio para la recirculación de gases de combustión

Para efectuar el cálculo de masas y calores es necesario previamente determinar las áreas y volúmenes mostradas en la Figura 30, el volumen de agua obtenido 129.57 galones, el cual es calculado por un programa asistido por computadora (Solidwork) ver Figura 24.

$$\text{Vol.} = 129,57 \text{ galones} = 489.7746 \text{ litros}$$

A partir del volumen calculado se obtiene la masa de agua, de $m_2 = 489.7746 \text{ kg}$

El área exterior del cilindro de la cámara es calculada por medio de la Ecuación 5.1

$$A_c = \pi \cdot d \cdot h \dots\dots\dots 5.1$$

Calculando y aplicando la formula correspondiente se tiene:

$$A_c = 3.15 \times 1.068 \times 0.711 \quad A_c = 2.392 \text{ mt}^2$$

Para el cálculo de la base circular aplicamos la Ecuación 5.2

$$A_{\text{base circular}} = \pi \frac{d^2}{4} = 3.15 \cdot \frac{(1,068)^2}{4} \dots\dots\dots 5.2$$

$$A_{\text{base circular}} = 0,898 \text{ m}^2$$

Para el cálculo área interior del cilindro (primera sección del hogar) este es aproximado a una plancha metálica interior que separa el fuego o llama viva con el agua que la rodea que se calentara, el cual tiene un área total, que es mostrado en la Ecuación 5.3. Posteriormente es utilizada la Ecuación 5.4, 5.5 y 5.6, para calcular el volumen del material, la masa de acero, y la masa total a calcular respectivamente

$$A \text{ cilindro interior} = \pi \times 0,305 \times 0,611$$

$$A \text{ cilindro interior} = 0,587 \text{ mt}^2$$

$$\text{Área total a calentar} = 2.392 + 0.898 + 0.587 \dots\dots\dots 5.3$$

$$A_{\text{ cilindro}} = 3.877 \text{ m}^2$$

$$\text{Espesor de la plancha} = \frac{1}{4} \text{ pulg.} = 0,00635 \text{ mt}$$

$$\text{Peso específico del acero al carbono (ASTM 285C)} = 7879,85 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Volumen del material} = \text{Área} \times \text{espesor de la plancha} \dots\dots\dots 5.4$$

$$= 3,877 \text{ m}^2 \times 0,00635 \text{ mt} = 0,0246 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa de acero al carbono a emplear} = \text{área} \times \text{Peso específico} \dots\dots\dots 5.5$$

$$= 0,0246 \text{ m}^3 \times 7879,85 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Masa de acero al carbono} = 193,993 \text{ Kg}$$

$$\text{Luego: Masa total a calentar} = \text{Masa de agua} + \text{Masa metálica} \dots\dots\dots 5.6$$

$$= 489,774 + 193,993$$

$$\text{Masa metálica del cilindro} = 683,767 \text{ Kg}$$

4.2.1.2 Cálculo de masas en la Cámara de Agua.

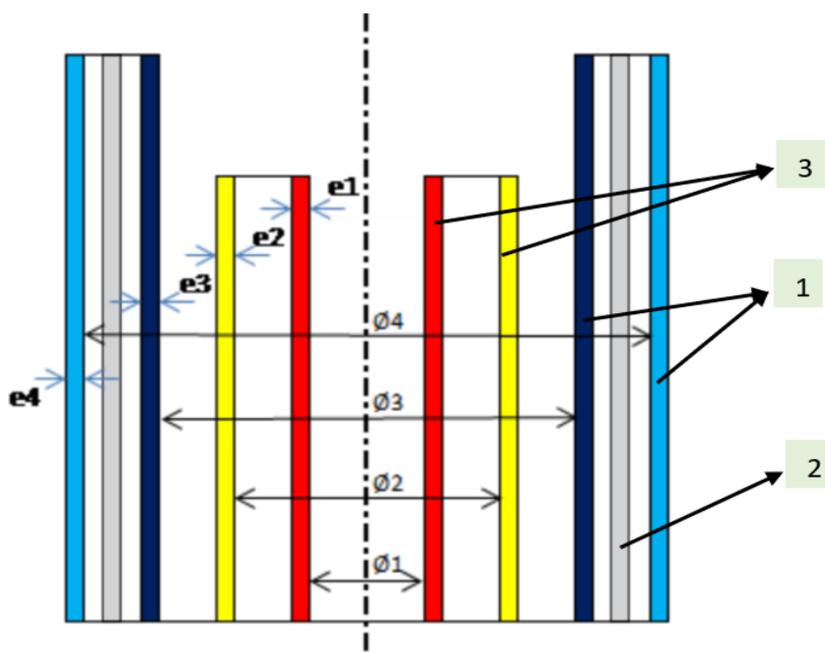
La Figura 31 muestra el corte transversal del material empleado para el cálculo de masas y calores necesarios.

Los colores de la cámara de agua indican:

1. Sección B, segundo compartimiento de la cámara de agua
2. Tubos verticales de circulación de gases,
3. Sección A, primer compartimiento de la cámara de agua

Figura 31

Esquema transversal de la cámara de agua



Nota: Esquema transversal de la cámara de agua que muestra dimensiones del diámetro, alturas y espesores del material. Fuente: Aguilar,2019.

Inicialmente, se establecen las dimensiones equivalentes en metros de la cámara de agua calculados a partir del área de transferencia de calor por Aguilar (2019); Estas dimensiones se emplearán en el cálculo de masas y calores necesarios se muestran en la siguiente Tabla 5, para 12 tubos

Tabla 05

Dimensiones de la cámara de agua

DIAMETRO	ESPESOR	ALTURA
$\Phi 1 = 12 \text{ pulg.} = 0.3048\text{m}$	$e1 = 1/4 \text{ pulg.} = 0.00635\text{m}$	$h1 = 40 \text{ pulg.} = 1.016\text{m}$
$\Phi 2 = 24 \text{ pulg.} = 0.6096\text{m}$	$e2 = 3/16 \text{ pulg.} = 0.00476\text{m}$	$h2 = 40 \text{ pulg.} = 1.016\text{m}$
$\Phi 3 = 30 \text{ pulg.} = 0.762\text{m}$	$e3 = 5/16 \text{ pulg.} = 0.0079\text{m}$	$h3 = 46 \text{ pulg.} = 1.168\text{m}$
$\Phi 4 = 42 \text{ pulg.} = 1.0668$	$e4 = 1/4 \text{ pulg.} = 0.00635\text{m}$	$h4 = 46 \text{ pulg.} = 1.168\text{m}$
Tubos $\Phi = 2 \text{ pulg} = 0.00276$	$e5 = 7/64 \text{ pulg} = 0,00276 \text{ m}$	$h = 46 \text{ pulg.} = 1.168\text{m}$

Nota: Dimensiones de la cámara de agua: diámetro de los cilindros metálicos, espesor de planchas, alturas de los cilindros y dimensiones de los tubos. Fuente: Aguilar, 2019.

a) Cálculo de Masa de la cámara de agua.

Para el cálculo de masas correspondientes a las diferentes secciones de la cámara de agua se aplica la Ecuación 5.7 iniciando por la sección interior que interiormente corresponde al hogar de la caldera.

$$m_i = \pi \times d \times h \times e \times \rho \dots\dots\dots 5.7$$

donde:

m_i = masa de la sección a calcular

π = 3.15 Pi, factor de conversión circular

d = diámetro del cilindro circular

h = altura del cilindro vertical

e = espesor de la plancha metálica

ρ = densidad del material (plancha metálica)

Para el cálculo de las diferentes secciones cilíndricas de la cámara de agua se aplica la ecuación descrita anteriormente

b) Cálculo de la masa de los cilindros de las secciones “A” y “B”.

Se inicia el cálculo con el cilindro interior de 12 pulgadas que equivale a 0.3048 m. en sentido ascendente, empleando la Ecuación 5.1 para cada cilindro. A continuación, son descritos los cálculos de las secciones A y B.

– Cilindro interior de la sección A

$$m_1 = \pi \times d \times h \times e \times \rho \dots\dots\dots .5.8$$

$$= 3.15 \times 0,3048\text{m} \times 1,016\text{m} \times 0,00635\text{m} \times 7879.85\text{kg}/\text{m}^3$$

$$m_1 = 48,81\text{kg}$$

– Cilindro exterior de la sección A

$$m_2 = 3,15 \times 0.609\text{m} \times 1.016\text{m} \times 0.00476\text{m} \times 7879,85 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$m_2 = 73,17\text{kg}$$

– Cilindro interior de la sección B

$$m_3 = 3,15 \times 0,762\text{m} \times 0,0079\text{m} \times 1,168\text{m} \times 7879,85\text{kg}/\text{m}^3$$

$$m_3 = 174,52\text{kg}$$

– Cilindro exterior de la sección B

$$m_4 = 3,15 \times 0,00635\text{m} \times 1,0668\text{m} \times 1,168\text{m} \times 7879,85\text{kg}/\text{m}^3$$

$$m_4 = 196,39 \text{ kg}$$

c) Cálculo de masa de los pirotubos.

Para el cálculo de la masa de los tubos se multiplica por el número de (12) tubos que contiene la cámara de agua. Ver ecuación 5.9

$$m_5 = \pi \times d \times h \times e \times \rho \times n \dots\dots\dots 5.9$$

donde: n = 12 (Nro de tubos en la caldera)

$$\text{Tubos: } 3,15 \times 0,0508 \times 1,168 \times 0,00276 \times 7879,8 \times 12$$

$$m_5 (\text{tubos}) = 48,77 \text{ kg}$$

d) Cálculo de masa de los anillos circulares.

Según la Figura 31 para hermetizar el agua contenida se observa que en la parte superior e inferior la cámara de agua tiene anillos circulares cuyas masas se calculan a continuación empleando la Ecuación 5.10, considerando los diámetros correspondientes a cada cilindro (ver Tabla 6)

Las dimensiones de los anillos circulares están en concordancia con los diámetros de las secciones A y B de la cámara de agua (ver Figura 31) que en el presente trabajo son de dos medidas y se calculan utilizando la Ecuación 5.10 y los diámetros se muestran en la Tabla 6

$$\text{Anillos: Masa de anillos} = \pi \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{4} * e * \rho \dots\dots\dots 5.10$$

Donde:

e = 3/16 pulgada = 000476 m, espesor de la plancha del anillo circular

ρ = densidad del material

Tabla 06*Diámetros interior y exterior de los anillos circulares*

Diámetros de anillos circulares		
d1	12 pulgadas	0.3048 m
d2	24 pulgadas	0.069 m
d3	30 pulgadas	0.762 m
d4	42 pulgadas	1.01668 m

Nota: Diámetro interior y exterior de los anillos circulares de las secciones A y B de la cámara de agua. Fuente: Elaboración Propia

- Cálculo de la masa del anillo superior e inferior de los cilindros interiores que forman la sección A de la cámara de agua

$$m_6 = \pi \times \left(\frac{24^2 - 12^2}{4} \right) m^2 \times 0,00476m \times 7879,8 \times 2$$

$$m_6 = 16,43kg$$

- Cálculo de la masa del anillo superior e inferior de los cilindros exteriores que forman la sección B

$$m_7: \pi \times \left(\frac{42^2 - 30^2}{4} \right) m^2 \times 0,012m \times 7879,8 \times 2$$

$$m_7 = 87,66kg$$

$$\text{Masa total} = \sum M_i = 48,81 + 73,17 + 174,52 + 196,39 + 48,77 + 16,43 + 87,66$$

$$\text{Masa total} = 645,75 \text{ kg}$$

A partir de la masa total y considerando la soldadura a emplear, los pequeños tubos radiales y verticales que unen las secciones A y B y el domo que se ubica en la parte superior de la cámara de agua, se tiene como resultado:

$$\text{Masa total de la Cámara de agua} = 660kg$$

e) Cálculo de la masa de agua contenida en el interior de la cámara de agua

- En el 1er compartimiento de la cámara de agua se utiliza la Ecuación 5.11

$$V_1 = \pi \frac{(a_2^2 - a_1^2)}{4} * L \dots\dots\dots 5.11$$

$$= \pi \frac{(24^2 - 12^2)}{4} * 40 = \pi \frac{(576 - 144)}{4} * 40$$

$$V_1 = 13\,608 \text{ pulg}^3$$

- En el 2do compartimiento de la cámara de agua se utiliza la Ecuación 5.12

$$V_5 = V_4 - V_3 \dots\dots\dots 5.12$$

$$V_4 = \pi \frac{(42^2 - 30^2)}{4} * 46 = \frac{(1764 - 900)}{4} * 46 = 31\,298.4 \text{ pulg}^3$$

$$V_3 = \pi \frac{(2)^2}{4} * 46 * 12 = 1\,738.8 \text{ pulg}^3$$

$$V_5 = 31\,298.4 - 1\,738.8 = 29\,559.6 \text{ pulg}^3$$

- Volumen total de agua contenida en la cámara de agua se calcula con la Ecuación

5.13

$$V_T = 13\,608 + 29\,559.6 = 43\,167.6 \text{ pulg}^3 = 187.39 \text{ galones} \dots\dots 5.13$$

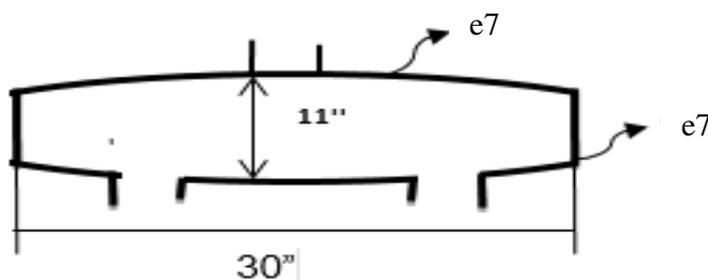
$$V_T = 43\,167.6 \text{ pulg}^3 * 0,016387 \frac{\text{lt}}{\text{pulg}^3} = 707.38 \text{ lt} = 707.38 \text{ Kg}$$

4.2.1.3 Cálculo de masa en el Domo.

La Figura 32 muestra las dimensiones del domo que cumple la función de generar vapor de agua

Figura 32

Dimensiones del domo



Nota: Tapas Elípticas conformadas para almacenar agua caliente y vapor. Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la masa se toma en cuenta el espesor de la plancha metálica que es ¼” o 0.00635 m. la cual es mostrada en la Ecuación 5.14

$$m_g = \pi \frac{d^2}{4} \times e \times f \times 2 \dots\dots\dots 5.14$$

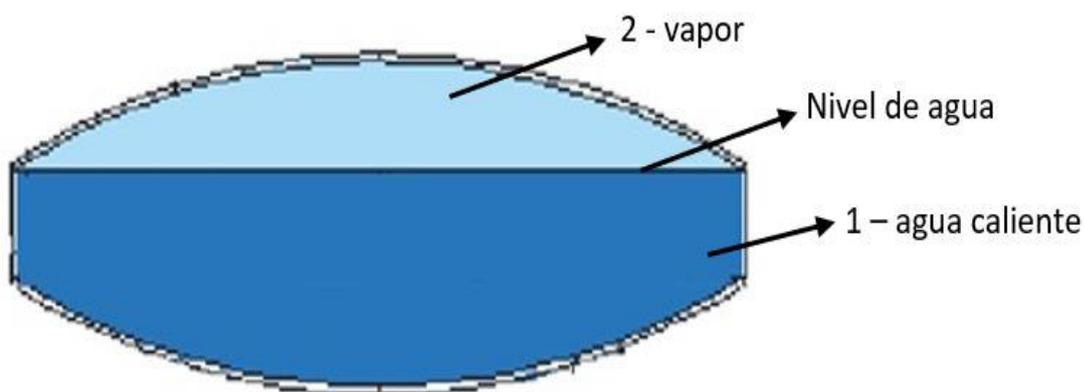
$$m_g = \pi \frac{(38)^2}{4} \times 0,00635 \text{ m} \times 7879,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{1550 \text{ pulg}^2}$$

Masa total (domo) = 73,42 kg

El volumen de agua contenido en el domo para la generación de vapor se muestra en la siguiente Figura 33.

Figura 33

Domo con contenido de agua caliente y vapor de agua



Nota: Domo que contiene agua (Color azul) en proceso de cambiar de fase a vapor (Color celeste). Fuente: Elaboración propia.

Debido a la complejidad geométrica del domo se calcula el volumen de agua mediante el programa Solidworks siendo este resultado de 39.12 galones = 147.87 lt. = 147.87 Kg

$$V_{TOTAL} = V_T + V_D \dots\dots\dots 5.15$$

A partir de la Ecuación 5.13 donde se calcula el volumen de agua total, el cual considera lo contenido en la cámara de agua y el volumen total considerando el volumen en el domo, resulta:

$$V_{TOTAL} = 187.39 + 39.12 = 226.26 \text{ galones}$$

Volumen total de agua incluido el domo = 226,26 gal

En la Tabla 7 se muestran los resultados del cálculo efectuado para obtener la masa de cada uno de los tres componentes de la caldera que se utilizará para el cálculo del calor necesario.

Tabla 07

Resumen de masas de las partes metálicas y agua

	Agua	Masa Metálica	Masa Total
	Kg	Kg	Kg
Cámara de Combustión	489.77	193.99	683.76
Cámara de Agua	707.38	660	1367.38
Domo	147.87	73.42	221.29

Nota: Se muestra el cálculo de las masas de los componentes metálicos y de la cantidad de agua contenida en la caldera. Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Cálculo de Calores

4.2.2.1 Consumo de Calor en la Cámara de Combustión.

El cálculo necesario del consumo de calor en la cámara de combustión se efectuará a condiciones estándar; la temperatura del agua será de 99°C según lo establece el Código ASME, por tanto, este será el máximo valor al cual se calentará el agua contenida en el interior de la cámara de combustión rodeando externamente al fuego producido por la combustión en el hogar tal como se muestra en la Figura 30 este resultado será útil para la generación simultánea como para la producción independiente de agua caliente y vapor de agua.

En el cálculo inicial en esta sección no considerará el calor el requerido como flujo, debido a que no se considera el tiempo como factor de cálculo, de la Figura 30 se obtiene la siguiente información:

- ✓ Diámetro exterior de la cámara de combustión = 1,068 m
- ✓ Altura total de la cámara de combustión = 0,711 m.

Adicionalmente consideramos los siguientes datos técnicos característicos de los materiales empleados

- ✓ Espesor de la plancha metálica: $\frac{1}{4}'' = 0,00635 \text{ m}$
- ✓ Calor específico del acero al carbono: $0,49 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{K}$
- ✓ Calor específico del agua: $4,18 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$

El calor se calculará a partir de la siguiente Ecuación general 5.16, según el caso a aplicar

$$Q = m \times C_p \times (t_f - t_i) \dots\dots\dots 5.16$$

➤ **Fórmula de cálculo para calentar la masa metálica:**

Según la Ecuación 5.17

$$Q_1 = m_1 \times C_p \times (t_{fm} - t_{im}), \dots\dots\dots 5.17$$

Donde:

Q_1 = Cantidad de calor necesario para calentar la masa metálica KJ

m_1 = masa metálica del acero al carbono a calentar: Kg

C_p = Calor específico del acero: $\text{kJ/Kg } ^\circ\text{K}$

T_{fm} = Temperatura final del metal: $99^\circ\text{C} = 372^\circ\text{K}$

t_{im} = Temperatura inicial del metal: $22^\circ\text{C} = 295^\circ\text{K}$

➤ **Fórmula de cálculo para calentar la masa o volumen de agua:**

$$Q_2 = m_2 \times C_p \times (t_{fag} - t_{iag}) \dots\dots\dots 5.18$$

Q_2 = Calor necesario para calentar el agua KJ

m_2 = masa de agua a calentar: Kg

C_p = Calor específico del agua: $\text{kJ/Kg } ^\circ\text{K}$

t_{fag} = Temperatura final el agua: $99^\circ\text{C} = 372^\circ\text{K}$

t_{iag} = Temperatura inicial del agua: $22^\circ\text{C} = 295^\circ\text{K}$

4.2.2.2 Cálculo de calores necesarios en la cámara de combustión

- Calor necesario para calentar la masa metálica

$$Q_1 = m_1 \times C_p \times (t_{f_m} - t_{i_m}), \dots\dots\dots 5.19$$

$$Q_1 = 193,844 \text{ kg} \times 0,49 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K} \times (372 - 295) ^\circ\text{K}$$

$$Q_1 = 7313,73 \text{ Kj}$$

➤ Calor necesario para calentar la masa de agua contenida:

$$T_{f_{ag}} = 99 ^\circ\text{C} = 372^\circ \text{k}$$

$$T_{i_{ag}} = 22 ^\circ\text{C} = 295^\circ\text{k}$$

$$\text{Aplicando la fórmula general: } Q = m \times C_p \times (t_{f_{ag}} - t_{i_{ag}}) \dots\dots\dots 5.20$$

$$\text{Para el agua se calcula: } Q_2 = m_2 \times C_p \times (t_{f_{ag}} - t_{i_{ag}}) \dots\dots\dots 5.21$$

$$Q_2 = 489,77 \text{ kg} \times 4.18 \text{ kJ/kg k}^\circ \times (372 - 295) ^\circ\text{k}$$

$$Q_2 = 157\,637,37 \text{ kJ}$$

$$\text{Calor total necesario: } Q_{t_1} = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots 5.22$$

$$= 7\,313.73 + 157\,637.37$$

$$\text{Calor total necesario: } Q_{t_1} = 164\,951.10 \text{ kJ}$$

4.2.2.3 Consumo de Calor en la Cámara de agua.

La cámara de agua, es la segunda sección de la caldera que se ensambla mediante bridas sobre la cámara de combustión, donde ingresa agua fría desde la parte lateral superior y efectúa un primer recorrido descendente rodeando el piro tubo y a continuación hace un cambio de dirección en la parte inferior para luego continuar en sentido ascendente hacia el domo, tal como se puede observar el recorrido de los gases de combustión que son tres y del recorrido del agua que son dos en la Figura 34

Primero el desplazamiento del fuego en sentido vertical ascendente cambia de dirección y desciende rodeando un pequeño tubo horizontal y luego asciende verticalmente por el interior de los tubos hacia una tercera sección (domo), como indican las flechas de color amarillo, que finalmente salen por la chimenea.

$$C_p = 0,49 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \text{°C} \text{ Calor específico del acero}$$

$$T_{fm} = 99\text{°C} = 372 \text{°K} \text{ (Temperatura final anterior de iniciar el cambio de fase)}$$

$$T_{im} = 22\text{°C} = 295\text{°K} \text{ (Temperatura inicial del metal)}$$

$$Q_3 = 660 * 0,49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * (99 - 22)\text{°C} = 24901,8 \text{ KJ}$$

➤ **Calor necesario para calentar el agua contenida: Q₄**

$$Q_4 = m_4 * C_p * (T_{fag} - T_{iag}) \dots\dots\dots 5.24$$

$$m_4 = \text{masa de agua} = 707,38 \text{ kg}$$

$$C_p = \text{calor específico} = 4,18 \text{ kJ/kg°k}$$

$$T_{tag} = \text{Temperatura final del agua al inicio del cambio de fase} = 99\text{°C}$$

$$T_{iag} = \text{Temperatura inicial del agua}$$

$$Q_4 = 707,38 \text{ kg} * 4,18 \text{ kJ/kg°k} * (372\text{°} - 295) = 227677,32 \text{ kJ}$$

Luego calor total necesario para calentar en la cámara de agua

$$Q_{t2} = Q_3 + Q_4 = 24\ 901,8 + 227\ 677,32 = 252\ 579,12 \text{ kJ}$$

4.2.2.4 Consumo de Calor en el Domo

➤ **Calor para calentar la masa metálica: Q₅**

$$m_5 = 73,42 \text{ K}$$

$$C_p = 0,49 \text{ kJ/Kg °C}$$

$$T_{im} = 99 \text{°C}$$

$$T_{im} = 22\text{°C}$$

$$Q_5 = m * C_p * (T_{fm} - T_{im}) \dots\dots\dots 5.25$$

$$Q_5 = 73,42 \text{ Kg} * 0,49 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg°C}} * (99 - 22)\text{°C}$$

$$Q_5 = 2\ 770,13 \text{ Kj}$$

➤ **Calor para calentar el agua contenida: Q₆**

Para determinar la masa de agua contenido es necesario calcular la cantidad de agua a calentar, este objetivo se logra con una diferencia de volúmenes para lo cual se tiene como referencia las Ecuaciones 5.17, 5.18, 5.9 así como la Figura 32 de los cuales se obtiene:

Volumen total de agua contenida en la caldera incluido el domo = 226,26 gal.

$$\text{Masa de agua} = 147,87 \text{ kg}$$

Volumen de agua contenida en la cámara de agua = 187,14 gal.

La diferencia de volúmenes es la cantidad de agua contenía en el domo

$$\Delta v = 226,26 - 187,14 = 39,12 \text{ gal}$$

$$\Delta v = 39,12 \text{ gal} = 147,87 \text{ lt}$$

Luego:

Q_6 = Calor para calentar el agua en el domo

$$Q_6 = m * Cp * (T_f - T_i) \dots\dots\dots 5.26$$

$$= 148,87 * 4,18. (372 - 295)$$

$$Q_6 = 47 915,20 \text{ kj}$$

Q_{T3} = Calor total en el domo

$$Q_{T3} = \text{Calor total} = Q_5 + Q_6 \dots\dots\dots 5.27$$

$$= 47 915,30 + 2 770,13$$

$$Q_{T3} = 50 685,43 \text{ kj}$$

Los valores del calor calculados anteriormente son teóricos tanto para la masa metálica como para el agua debiendo también incorporarse las eficiencias por tanto el cálculo de la producción o generación de vapor de agua a partir de su definición es como flujo en lb/hr o en kg/hr de vapor.

En la Tabla 8 se muestran los valores obtenidos necesarios para calentar los componentes metálicos de la caldera utilizando las fórmulas empleadas para cada sección y estos valores calculados en la Tabla 8 se consideran como datos fundamentales para los siguientes procesos de calculo

Tabla 08*Resumen de calores teóricos*

	Agua: kJ	Masa metálica: kJ	Total: kJ
Cámara de combustión	157 637,37	7 319,35	164 956,72
Cámara de agua	227 677,32	24 901,80	252 579,19
Domo	47 915,30	2 770,13	50 685,43
Total	433 229,99	34 991,28	468 221,27

Nota: Resumen de calores teóricos necesarios para calentar el agua y la masa metálica de la caldera. *Fuente:* *Elaboración Propia*

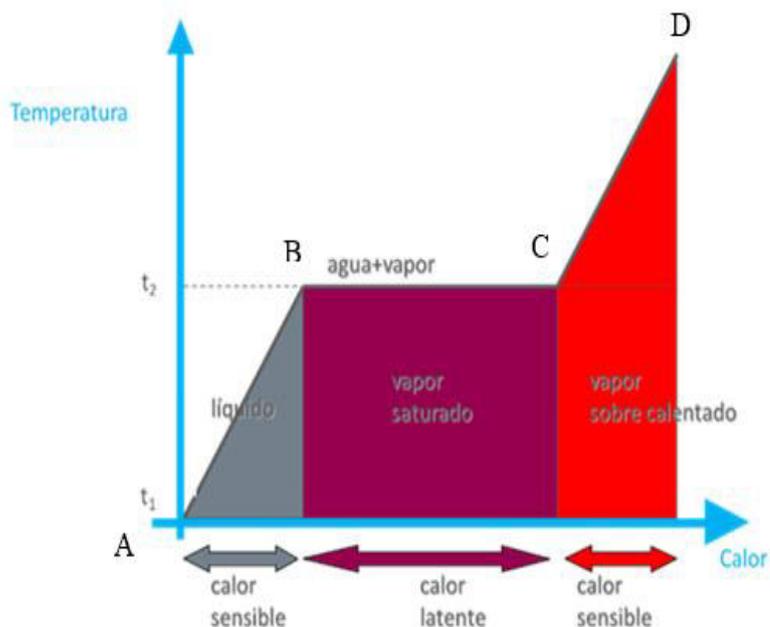
El calor total calculado fue 468 221.67 kJ (ver Tabla 8) el cual es para el calentamiento de la masa metálica y del agua antes de inicio del proceso de evaporación del agua como se puede apreciar en la Figura 35, el proceso de generación de vapor requiere del equilibrio termodinámico como se mencionó anteriormente de acuerdo a la Ley cero de la termodinámica y requiere de un tiempo determinado de inicio a fin.

En la Figura 35 se muestran los procesos de calentamiento y generación de vapor en el interior de la caldera para mayor precisión en el domo. También se observa como el agua como el agua se calienta desde una temperatura inicial y se evapora, así mismo como en la abscisa se muestra los diversos tipos de calores que tienen a lugar, a continuación, se explican los procesos que sigue el agua, como son:

- A- B: Calentamiento del agua hasta la temperatura final previo al inicio de la evaporación.
- Proceso B- C: Evaporación del agua o cambio de fase. De líquido a vapor saturado.
- Proceso C – D: Sobrecalentamiento del vapor desde la condición de vapor saturado hasta la condición de vapor sobrecalentado.

- Los procesos de evaporación o cambio de fase en calderas se efectúan a condiciones estándar (100 °C y P = 1 bar) por definición de American Boiler Manufacturing Association (ABMA).

Figura 35



Nota: Gráfico que muestra el calentamiento y cambio de fase del agua hasta llegar a vapor sobrecalentado, Fuente: Análisis Técnico-Económico de la recuperación de condensado para la Industria Farmacéutica. Fuente: Villanueva (2020)

La generación de vapor a condiciones estándar está definida desde el punto de vista termodinámico como la cantidad de calor necesario para que un kg de agua como masa requiere para cambiar del punto de líquido saturado al punto de vapor saturado a condiciones estándar (100 °C y 1atm.) denominado calor latente (h_{fg}), su valor térmico pre determinado se ubica en las tablas de vapor saturado denominado Propiedades del agua saturada (Líquido – Vapor): Tabla de presiones en valor absoluto o un el diagrama de Molier, (ver Anexo F) se tiene:

$$h_{fg} = 2\,256,66 \text{ kJ/kg}$$

La capacidad de producción de vapor, una caldera piro acuotubular de 15BHP, a condiciones estándar se determina de la siguiente forma:

- 1BHP de caldera produce 34,5 lb/hr o 15,68 kg/hr vapor la producción de 15BHP que se definió en el Capítulo IV como la potencia de caldera a calcular y donde el flujo de vapor se genera como:

$$\text{Flujo de vapor de agua en masa} = 15 * 34.5 \text{ lb/hr} = 517,5 \text{ lb/hr} \text{ ó } 235,227 \text{ kg/hr}$$

- La cantidad de calor aprovechado (Q_A) para el cambio de fase es:

$$Q_A = \dot{m}v * \Delta h \dots\dots\dots 5.28$$

A plena carga para lo cual se consideran la válvula de descarga totalmente abierta, luego.

$$\dot{Q}_A = 15.68 \frac{\text{Kg/hr}}{\text{BHP}} * 2 \text{ 258,66 kJ/kg} * 15\text{BHP}$$

$$\dot{Q}_A = 530 \text{ 766,43 kJ/hr}$$

En la Tabla 9 se muestran los valores técnicos que caracterizan al combustible GLP como son su Poder Calorífico Superior, su densidad, así mismo se incorpora según sea el caso la masa de combustible consumido, los tiempos medidos durante el consumo y las eficiencias de combustión y las eficiencias térmicas.

Tabla 09

Valores característicos del Gas Licuado de Petróleo

Poder Calorífico Superior (PCS) =52123 kJ/kg		
Para calentar agua	$\rho(\text{densidad}) = 519 \text{ kg/m}^3$	$t = 0,55 \text{ hr (33minutos)}$
	$m_c = 6,30 \text{ kg}$	$\dot{m} = 10,30\text{kg/hr}$
	$\eta_c = 0,99$	$\eta_{termica} = 0,924$
Para generar vapor	$\rho = 519,7 \text{ kg/m}^3$	$t = 0,69 \text{ hr (41,8minutos)}$
	$mc = 13,22\text{kg}$	$\dot{m}c = 19,16\text{kg/hr}$
	$\eta_c = 0,99$	$\eta_{termica} = 0,924$

Nota: Valores diversos relacionados al GLP, y tiempos de generación de fluidos. Fuente Aguilar, 2019.

Para establecer los cálculos anteriormente ejecutados como flujo de calor es necesario tener como dato un tiempo de calentamiento del agua y el de generación de vapor de agua, con

este fin se considera como tiempo, para fines de comparación los considerados por Aguilar (2019) en su tesis de Maestría, y para el cálculo como flujo de calor se emplearán los valores del calor de la Tabla 8, y el tiempo para el proceso de calentamiento de agua y generación de vapor de agua, que son los siguientes:

$t = 0,69 \text{ hrs}$ (41,8 minutos) para generar vapor de agua

$t = 0,55 \text{ hr}$ (33 minutos) para calentar agua

Con el propósito de tener un mejor análisis comparativo se ejecutará los siguientes cálculos que permitirá conocer el flujo de combustible en kg/hr como sigue:

- a) Flujo de combustible para calentar agua en la cámara de combustión.
- b) Flujo de combustible para calentar agua en toda la caldera.
- c) Flujo de combustible para generar solo vapor en la caldera.
- d) Flujo de calor para generación simultanea de agua caliente y vapor de agua.

Los tiempos de entrega y aprovechamiento del calor en algún caso se calcularán en relación proporcional al volumen de agua contenido en su interior más el calor que consume la masa metálica.

Es importante precisa que el cálculo desagregado como se menciona anteriormente permitirá validar la hipótesis formulada respecto a la influencia sobre el medio ambiente y la sostenibilidad.

4.2.3 Cálculo de los Flujos de Calor

Para lograr este necesario propósito a continuación se calculan los calores en función de un tiempo que transcurre durante del proceso de calentamiento de agua y generación de vapor, que permita efectuar los cálculos del calor como flujo y adicionalmente se considerarán los factores de eficiencia de combustión y eficiencia térmica calculados en el trabajo de Aguilar (2019) como sigue: $\eta_{cc} = 99\%$, $\eta_t = 92,4\%$

4.2.3.1 Flujo de Calor en la Cámara de Combustión.

El trabajo de Aguilar (2019), tiene una cámara de combustión construida internamente con material aislante que da lugar al hogar, todo esto dentro de un cilindro metálico aislado externamente, que se considera adiabático (no genera pérdidas de calor al ambiente externo), este material aislante interno en el presente trabajo se reemplaza por agua a calentar que implicara un mayor aprovechamiento del calor generado por la combustión, tal como se muestra en la Figura 30 entonces se tiene como resultado la masa total que contiene agua dentro de una masa metálica cilíndrica.

$$M_{total} = m_{agua} + m_{met} \dots\dots\dots 5.29$$

$$= 489,77 + 193,99 = 683,76 \text{ kg}$$

Dice que, para calentar agua, para una masa total:

$$M_{total} = 1\ 630 \text{ kg con combustible GLP (PCS} = 52\ 123 \text{ kJ/kg)}$$

Se requiere un tiempo $t = 0,55 \text{ hr}$ (33 minutos), calculando un nuevo flujo de combustible si solo se calienta el agua en la cámara de combustión proporcionalmente para 683,76 kg se requiera 0,23 hr, por tanto, el flujo de calor necesario en la cámara de combustión es: 16 4956,72 kJ (Tabla 8)

$$\dot{Q}_{teorico} = \frac{164\ 956,72}{0,23} \text{ hr} = 717\ 203,13 \text{ kJ/hr}$$

Luego:

$$\dot{Q} = \dot{m} * \frac{Pc}{\eta_{cc}} \dots\dots\dots 5.30$$

$$= \frac{71\ 7203,13}{0,99} = 724\ 447,60$$

$$\dot{Q} = \dot{m}c * \frac{Pc}{\eta_t} \dots\dots\dots 5.31$$

$$= 724\ 447,60/0,924 = 784\ 034,20$$

$Q_{total \text{ real}} = 784\ 034,20$, de este valor se calcula la masa de combustible como:

$$\dot{m}_c = \frac{Q_{TR}}{P_{CS}} = \frac{784\ 034,20}{52\ 123} = 15.04\ kg/hr$$

4.2.3.2 Flujo de calor en la Caldera de agua caliente.

La caldera, tiene una cámara de combustión tiene el hogar rodeado externamente con agua (Ver Figura 30) como se mencionó anteriormente, por tanto, todo el calor generado en la combustión se aprovecha en la cámara de agua y el domo de la caldera, entonces se tiene de la Tabla 8.

$$Masa\ metálica = 660\ kg$$

$$Masa\ de\ agua = 707,38kg\ (Incluye\ agua\ con\ el\ domo\ lleno)$$

$$Masa\ Total = 1367,38\ kg\ (Tabla\ 8)$$

De la Tabla 9 se obtiene el calor necesario como:

$$Q = 252\ 579,12 + 50\ 685,43$$

$$Q = 303\ 264,55\ kJ$$

El tiempo medido por Aguilar (2019) para este calor es 0,55hr (33minuto)

Se tiene como flujo de calor

$$\dot{Q} = 303\ 264,55\ kJ/0,55hr$$

$$\dot{Q} = 551\ 390,09\ kJ/hr$$

Luego:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}_c P_c}{\eta_{cc}} \dots\dots\dots 5.32$$

$$= \frac{551\ 390,09}{0,99} = 556\ 959,68\ \frac{kJ}{hr}$$

$$\dot{Q}_{total\ real} = \dot{m} * \frac{P_c}{\eta_t} \dots\dots\dots 5.33$$

$$= 556\ 959,68/0,924$$

$$\dot{Q}_{TOTAL\ REAL} = 602\ 770,21\ kJ/hr$$

Con este valor se calcula el flujo de combustible como:

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{Q}_{total\ real}}{PCS} \dots\dots\dots 5.34$$

$$= \frac{602\ 770,21}{52\ 123} = 11,56\ kg/hr$$

$$\dot{m}_c = 11,56\ Kg/hr$$

4.2.3.3 Flujo de Calor en la Caldera de Vapor.

Con el mismo criterio del acápite anterior se considera que el vapor se genera en el interior del domo, pero con un menor volumen de agua; siendo la diferencia de volúmenes dentro del domo (vol. total del domo – volumen ocupado por el agua), es denominado cámara de vapor (ver Figura 33), que viene a ser un porcentaje del volumen total de la cámara de agua en la caldera piro acuotubular.

El Criterio a utilizar en este caso se asemeja al de una caldera acuotubular cuya cámara de vapor, oscila entre 12,5 % y 14 % del volumen de agua almacenado, no se considera el volumen de agua contenida en la cámara de combustión de la presente Tesis, para el cálculo de la cámara de vapor en el domo para el cálculo del calor y flujo de combustible en emplea lo siguiente:

a. Masa Metálica = 660 kg

b. Masa de agua = masa total de agua – Masa libre de la cámara de vapor

$$= 707,38 - 14\% * (707,38)kg$$

$$= 707,38 - 99,03$$

$$Masa\ de\ agua = 608,35\ kg$$

El tiempo total de generación medido por Aguilar (2019) es de 0,69 hr (41.8 minutos) que considera el tiempo de calentamiento hasta 100 °C así como el calor por cambio de fase del vapor de la tabla de vapor (Anexo F). De la Tabla 9, se obtiene el calor necesario en la cámara de agua

$$Q_{total} = 252\,579,12 + Q_i + Q_A + Q_{domo} \dots\dots\dots 5.35$$

\dot{Q}_A = Cantidad de calor aprovechado para el cambio de fase (530 766 ,43 kJ/hr.)

Q_i = calor necesario para calentar el nuevo volumen de agua en el domo.

V_i volumen de agua en el domo cuyo volumen es

$$V_i = 39,12 \text{ gal (volumen de agua en el domo)} - 26,19 \text{ gal (volumen de 99,03kg)}$$

$$V_i = 12,92 \text{ gal}$$

Resulta: m_i = nuevo volumen de agua en el domo para generar vapor

$$m_i = 48,83 \text{ kg}$$

$$Q_i = m_i * C_p (T_f - T_i) \dots\dots\dots 5.36$$

Se tiene de la Ecuación 5.34:

$$Q_i = 48,83 \text{ kg} * 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{k} * (373 - 295)^\circ\text{k}$$

$$Q_i = 15\,920,53 \text{ kJ}$$

En la ecuación inicial

$$Q = Q_{total \text{ camara de agua}} + Q_{inicial \text{ nuevo volumen del domo}} + Q_{masa \text{ metalica del domo}}$$

De la Tabla 8 y del cálculo del valor Q_i y de la masa metálica del domo, resulta

$$Q_{sub \text{ total}} = 252\,579,12 + 15\,920,53 + 2\,770,13$$

$$Q_{sub \text{ total}} = 271\,269,78 \text{ kJ}$$

Este valor del calor considerado como flujo de calor, para calentar el agua hasta 100°C de acuerdo a lo establecido anteriormente es con un tiempo de 0,55 hr (33 minutos)

$$\dot{Q}_{sub \text{ total}} = 271\,269,78 \text{ kJ}/0,55 \text{ hr} = 493\,217,78 \text{ kJ/hr}$$

$$\dot{Q}_{sub \text{ total}} = 493\,217,78 \text{ kJ/hr}$$

Para el calor total necesario en la generación de vapor se requiere:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{sub \text{ total}} + \dot{Q}_A \dots\dots\dots 5.37$$

Reemplazando:

$$\dot{Q}_{total} = 493\,217,78 \frac{kJ}{hr} + 530\,766,43 kJ/hr$$

$$\dot{Q}_{total\ teorico} = 1'023\,984,21\ kJ/hr$$

Para calcular el flujo de combustible teórico de combustible en la ecuación:

$$\dot{Q}_T = \dot{m}_c * P_C \qquad \dot{m}_c = Q_T/P_C \dots\dots\dots 5.38$$

$$\dot{m}_c = \frac{1'023\,984,21}{52\,123} = 19,64\ kg/hr$$

La \dot{m}_c real, se calcula considerando eficiencias que Aguilar Vizcarra (2019) calculo

$$\eta_{combustion} = 0,99 \quad y \quad \eta_{termica} = 0,924$$

Se tiene:

$$\frac{\dot{Q}_{total\ teorico}}{\eta_c * \eta_\tau} = \dot{Q}_{total\ real} \dots\dots\dots 5.39$$

$$= 1'023\,984,21/0,99 = 1'034\,327,48$$

El cálculo Final: $\dot{Q}_{total\ real} = 1'034\,327,48/0.924$, como flujo de calor resulta:

$$\dot{Q}_{total\ real} = 1'119\,402,04\ kJ/hr$$

El flujo real de combustible

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{Q}_{total\ real}}{PCS} = 1'119\,402,04/52\,123$$

$$\dot{m}_{comb\ real} = 21,47\ kg/hr$$

4.2.3.4 Calor en la Caldera de Generación simultanea de vapor y agua caliente.

La evaluación de esta forma de aprovechamiento del calor de combustión y el flujo de combustible, es considerado de las siguientes formas:

1. Las eficiencias a emplear (eficiencia de combustión y eficiencia térmica) son las calculadas y utilizadas.
2. La fuente de calor es una sola, emplea un solo tipo de combustible como en los análisis anteriores y se combustiona en un quemador.

3. La distribución de calor es simultánea para calentar agua y generar vapor de agua
4. El tiempo de generación de vapor de agua y calentamiento de agua será mayor (0,69 hr = 41,8 minutos)
5. Será necesario un nuevo cálculo del flujo de combustible considerando las necesidades de calor establecidas en la Tabla 8.

Se tiene la siguiente Tabla 10 como resumen que muestra los flujos de calor necesarios, así como el calor total necesario para obtener agua caliente en la caldera propuesta:

Tabla 10

Resumen de flujos de calor teóricos para obtener agua caliente

Cámara de combustión: calor total	164 956,72 kJ/hr
Cámara de agua: calor total	252 579.12 kJ/hr
Domo, masa metálica: calor total	2 770,13 kJ/h
Domo, nuevo volumen de agua: calor total	15 920,53 kJ/hr
Calor total para calentar agua:	436 226,50 kJ/hr

Nota: Resumen de los flujos de calor teóricos necesarios para obtener agua caliente.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del calor teórico obtenido a partir de la Tabla 10 aplicando las eficiencias calcularemos los valores reales del combustible necesario

$$\dot{Q}_{total\ te\acute{o}rico\ agua} = 436\ 226,50\ kJ/hr$$

$$\text{Flujo de calor te\acute{o}rico} \quad \dot{Q}_{te\acute{o}rico\ agua} = \frac{436\ 226,50\ kJ/hr}{0,69}$$

$$\dot{Q}_{te\acute{o}rico\ agua} = 632\ 212,32\ kJ/hr$$

Flujo de combustible:

$$\dot{m}_{combustible\ te\acute{o}rico} = 632\ 212,32\ kJ/hr / 52\ 123\ kJ/kg = 12,13\ kg/hr$$

Para calentar agua: Se tiene como flujo de combustible

$$\dot{m}_c = 12,13\ kg/hr$$

El calor real como flujo considera las eficiencias calculadas por Aguilar

$$\eta_{\text{combustión}} = 0,99 \qquad \eta_{\text{térmica}} = 0,924$$

Aplicando en el cálculo las eficiencias para calentar agua se tiene el siguiente resultado

$$\dot{Q}_{\text{real Sub total agua}} = 632\,212,32 \text{ kJ/hr} / 0,99 = 638\,598,30 \text{ kJ/hr},$$

$$\dot{Q}_{\text{real total agua}} = 638\,598,30 \text{ kJ/hr} / 0,924 = 691\,123,70 \text{ kJ/hr}, \text{ luego se tiene el}$$

Flujo necesario de calor real total para calentar agua

$$\dot{Q}_{\text{real total agua}} = 691\,123,70 \text{ kJ/hr}$$

Flujo necesario de combustible resulta de:

$$\dot{m}_c = 691\,123,70 \text{ kJ/hr} / 52\,123 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{c \text{ real}} = 13,26 \text{ kg/hr}$$

Es el flujo de combustible necesario para calentar agua hasta 100°C en toda la caldera.

El calor necesario (Q_A) para generar vapor en la sección correspondiente de la caldera (domo) según el Figura 35 (proceso de evaporación), se tiene el valor de " Q_A " calculado anteriormente para 15 BHP.

$$\dot{Q}_A = 530\,766,43 \text{ kJ/hr}$$

Finalmente, el calor teórico total necesario será:

$$\dot{Q}_{\text{total teórico}} = \dot{Q}_{\text{teórico agua}} + \dot{Q}_A, \dots\dots\dots 5.40$$

reemplazando

$$\dot{Q}_{\text{total necesario}} = 632\,212,32 + 530\,766,43$$

$$\dot{Q}_{\text{total teórico necesario}} = 1\,162\,978,75 \text{ kJ/hr}$$

Calculando los valores reales de: calor y combustible, aplicando las eficiencias de combustión y térmica.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{Sub total real vapor y agua}} &= 1\,162\,978,75 \text{ kJ/hr} / 0,99 \\ &= 1\,174\,726,01 \text{ kJ/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q} \text{ total real vapor y agua} &= 1'174\,726.01 \text{ kJ/hr}/0.924 \\ &= 1'271\,348.49 \text{ kJ/hr}\end{aligned}$$

El flujo de combustible real es de: $\dot{Q} = \dot{m}_c * PCS$

$$\begin{aligned}\dot{m}_c &= \dot{Q}/PCS \dots\dots\dots 5.41 \\ &= 1'2713\,48.49 \text{ kJ/hr}/52\,123 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\dot{m}_{comb. \text{ real vapor y agua}} = 24.39 \text{ kg/hr}$$

En la Tabla 11 se muestra el resumen de todos los cálculos anteriores relacionados con la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua con sus diferentes alternativas, así mismo los consumos de combustible un tiempo determinado

Tabla 11

Resultados de consumo de combustible y calores necesarios

Tipo de fluido a generar	Tiempo de generación: hr (minutos)	Calor teórico necesario kJ/hr	Calor real necesario kJ/hr	Flujo de (\dot{m}_c) combustible kg/ hr
Agua caliente en la cámara de combustión	0,23 (13,8 minutos)	717 203,13	78 4034,20	15,04
Solo agua caliente en la caldera	0,55 (33 minutos)	551 390,09	602 770,21	11,56
Solo vapor de agua en la caldera	0,69 hr (41,8 minutos)	1'023 984,21	1'119 402,04	21,47
Simultaneo vapor de agua y agua caliente en la caldera	0,69 (41,8 minutos)	1'162 978,75	1'271 348,49	24,39

Nota: Resultados del flujo del consumo de combustible y calores necesarios para generar agua caliente y vapor de agua. Fuente: Elaboración Propia

El cuadro anteriormente establecido muestra los valores individuales del consumo de combustible y calores por hora, para los fines de la presenta tesis, analizaremos las diferentes alternativas, es decir: solo agua caliente, vapor de agua y como equipos consumidores de combustible que operan en paralelo y finalmente la generación simultánea de agua caliente y

vapor de agua, estos valores a mostrar serian analizados, considerando la operación de 24 hr/día por un total de 8760 hr / año como se muestra en la Tabla 12

Tabla 12

Consumo de combustible en Kg

Tipo de fluido a generar	Consumo GLP 1hr/dia Kg	Consumo GLP 24hr/dia Kg	Consumo 720 hr/mes Kg	Consumo 8760 hr/año Kg
Solo agua Caliente	11,56	277,44	8 323.2	101 265,6
Solo vapor de agua	21,47	515,23	15 458.4	188 077,2
Generación paralela de agua caliente y vapor	33,03	792,72	23 781.6	289 342,8
Generación simultanea vapor y agua caliente	24,39	585,36	17 560.8	213 656,4

Nota: Resultados del consumo de combustible comparados por alternativas de generación Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 12 de consumos de combustible se observa que el consumo de combustible para la generación simultánea de vapor y agua caliente es menor que el consumo de combustible de los equipos operando un paralelo es decir una generando agua caliente y el otro vapor de agua otro factor importante a considerar dentro de los objetivos tesis es la producción de gases de combustión que afectan el medio ambiente como son el dióxido de carbono (CO_2) y el monóxido de carbono (CO), para determinar los valores de estés gases al medio ambiente es necesario calcular a partir de una reacción química las cantidades emitidas de acuerdo a la establecido por Aguilar (2019) en su tesis de maestría para el combustible empleado (GLP).

Por lo cual se empleó un solo quemador para las pruebas resultando los siguientes valores de los gases de combustión:

$$CO_2 = 12,4\%, \quad CO = 0,06\%, \quad O_2 = 2,4\% \quad N_2 = 85,14\%$$

$$T_O = 22^\circ C, \quad T_{gases\ chimenea} = 183^\circ C$$

La fórmula química del combustible: C_3H_8

Peso Molecular (M) = 44

Para calcular \dot{m}_{CO_2} , \dot{m}_{CO} , es necesario calcular previamente

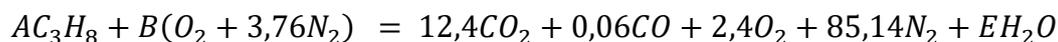
- Relación aire combustible teórico: ra/ct
- Relación aire combustible real: ra/cr
- Exceso de aire en porcentaje: % e

Estos resultados serán obtenidos a partir de la reacción química real del combustible con el siguiente procedimiento:

- La ecuación de reacción química expresada por mol de combustible.



Resolviendo



Balanceando por elementos:

$$C: 3A = 12,4 + 0,06$$

$$A = 4,15$$

$$H: 8A = 2E, \quad \text{reemplazando} \quad 8 * 4,15 = 2E$$

$$E = 16,61$$

$$O: 2B = 12 * 4 * 2 + 0,06 + 2,4 * 2 + E$$

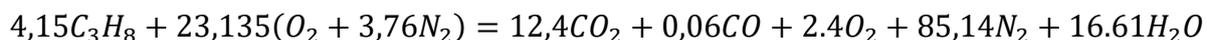
$$= 29,66 + E \quad \text{reemplazando}$$

$$2B = 29,66 + 16,61$$

$$2B = 46,27$$

$$B = 23,135$$

La ecuación real resulta como sigue



Para calcular: La relación aire combustible real es aplicada en la fórmula

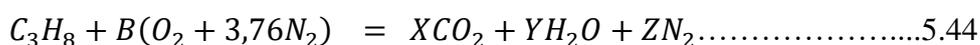
$$r_{a/c \text{ real}} = \frac{\text{masa de aire real}}{\text{masa de combustible}} \dots\dots\dots 5.43$$

$$= \frac{23,135(16 * 2 + 3,76 * 14 * 2)}{4,15(3 * 12 + 8)} = \frac{3\ 175,97}{182,6}$$

$$r_{a/c \text{ real}} = 17,39$$

La reacción química teórica a calcular es dada a partir de la siguiente ecuación teórica

5.44



Balanceado:

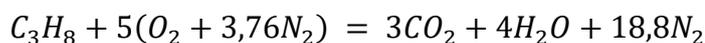
$$C: X = 3$$

$$H: 8 = 2Y \quad Y = 4$$

$$O: 2B = 2X + Y \quad B = 5$$

$$N: 2 * 3,76 * B = 2Z \quad Z = 18,8$$

La Ecuación resultante es:



$$r_{a/c \text{ teórico}} = \frac{\text{masa de aire teórico}}{\text{masa de combustible}}$$

$$= \frac{5(16 * 2 + 3.76 * 14 * 2)}{(3 * 12 + 8)} = \frac{686,4}{44} = 15,6$$

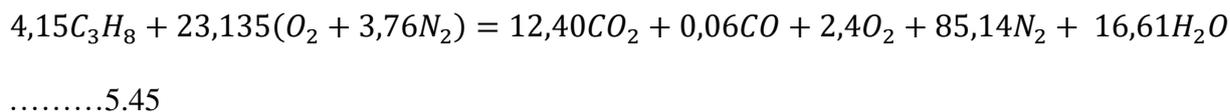
$$ra/c \text{ teórico} = 15,6$$

El exceso de aire se calcula como:

$$\%e = \frac{A_r - A_t}{A_t} \times 100 = \frac{17,39 - 15,6}{15,6} = 11,47$$

$$\% e = 11,47$$

El valor de CO₂ (dióxido de carbono) y CO (monóxido de carbono) resultante en masa se determina a partir de la ecuación real de reacción química; el cual es mostrado a continuación



Ejecutando un balance de masas obtenemos

$$182,6 + 23,135(32 + 105,28) = 545,6 + 1,68 + 76,8 + 2\ 383,92 + 298,98 \dots\dots 5.46$$

Se obtiene: $3358,57 = 3306,98$,

la diferencia de masas se debe a los gases incomburentes como helio, argón y la presencia de nitrógeno que es un gas inerte a bajas temperaturas de combustión, luego se tiene del balance de masas:

$$CO_2 = 545,6 \text{ kg}$$

$$CO = 1,68 \text{ kg}$$

Se considera que estos valores son emitidos al ambiente en los casos alternativos mencionados anteriormente para lo cual se calculan los calores necesarios en función del tiempo considerado en la Tabla 10.

A partir de la Ecuación 5.46 se obtiene la masa de gases emitidos al ambiente; de esta ecuación se utilizan el CO_2 y el CO que son los gases que afectan el medio ambiente con mayor intensidad y efectuando el cálculo como flujo de masa en función de los tiempos según se trate de agua caliente o vapor de agua se obtienen los siguientes resultados:

Para generar solo agua caliente:

$$CO_2 = 545,6/0,55 = 992 \text{ kg/hr}$$

$$CO = 1,68/0,55 = 3.054 \text{ kg/hr}$$

Para generar solo vapor de agua:

$$CO_2 = 545,6/0,69 = 790,72 \text{ kg/hr}$$

$$CO = 1,68/0,69 = 2,43 \text{ kg/hr}$$

Para generación en paralelo de agua caliente y vapor de agua

$$CO_2 = 992.0 + 790.72 = 1\,782.72 \text{ kg/hr}$$

$$CO = 3.054 + 2.43 = 5.48 \text{ kg/hr}$$

Para generación simultánea de agua caliente y vapor de agua

$$CO_2 = 545,6/0,69 = 790,72 \text{ kg/hr}$$

$$CO = 1,68/0,69 = 2,43 \text{ kg/hr}$$

Para establecer la cantidad de carbón emitido al ambiente, esta se obtiene de la ecuación real: (Ec.5.45)

$$\text{De: } 12,4C_2 = 12,4(C + O_2)$$

Solo el carbón resulta:

$$\text{Para el } C_1 = 12,4 * 12 = 148,40 \text{ kg}$$

$$\text{De: } 0.06CO = 0.06(C + O)$$

El carbón resulta

$$C_2 = 0.06 * 12 = 0.72 \text{ kg}$$

El total de carbón emitido es:

$$C_1 + C_2 = 148,40 + 0.72 = 149.52$$

Total, Carbón: $C = 149.52 \text{ kg}$

Al valor del carbón resultante como masa, del cálculo efectuado se le aplica el factor tiempo obtener flujo de masa para un segundo cálculo para cada tipo de fluido considerando las alternativas de generación, como sigue:

- Para generar solo agua caliente

$$C: 149.52/0,55 = 271.85 \text{ kg/hr}$$

- Para generar solo vapor de agua:

$$C: 149.52/0,69 = 216.69 \text{ kg/hr}$$

- Para generación paralela de agua caliente y vapor

$$C: 271.85 + 216.69 = 488.54 \text{ kg/hr}$$

- Para generación simultanea de vapor y agua caliente

$$C: 149.52/0,69 = 216.69 \text{ kg/hr}$$

Las Tablas 13 y 14 que muestran valores por hora, mensual y anual, de la emisión de gases de combustión y de la emisión del carbón al medio ambiente.

Tabla 13

Gases de Combustión emitidos al medio ambiente en Kg.

Tipo de fluido	Tipo de emisión	Gases de combustión emitidas al ambiente			
		1 hr/día Kg	24 hr/día Kg	720 hr/ mes Kg	8760 hr/año Kg
Solo Agua caliente	CO ₂	992	23 808	714 240	8 689 920
	CO	3.054	73.29	2 198.88	26 753.04
Solo Vapor de agua	CO ₂	790.72	18 977.28	569 318.4	6 926 707.2
	CO	2.43	58.32	1 749.6	21 286,8
Generación Paralela Agua Caliente + Vapor	CO ₂	1 782.72	42 785.28	1 283 558.04	15 616 627.20
	CO	5.48	131.52	3 945.60	48 004.80
Generación simultánea	CO ₂	790.739	18 977.73	569 332.08	6 926 873.64
	CO	2.43	58.32	1 749.6	21 286.8

Nota; Tabla que muestra la cantidad de gases emitidos al medio ambiente por alternativas de generación. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14

Emisión de carbón al medio ambiente, por tipo de fluido generado en Kg

Tiempo	Emisión de carbón al medio ambiente			
	Agua caliente	Vapor de agua	Paralela Agua caliente + vapor	Simultánea Agua caliente + vapor
1 hr/día kg	271.85	216.69	488.54	216.69
24hr/día kg	6 254.4	5 200.56	11 724.96	5 200.56
720 hr/mes kg	195 732	156 016.8	351 748.8	156 016.8
8760 hr/año kg	2 381 406	1 898 204.4	4 279 610.4	1 898 204.4

Nota; Tabla que muestra la cantidad de carbón emitido al medio ambiente por alternativa de generación. Fuente: Elaboración Propia.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Contratación de hipótesis

El desarrollo del presente trabajo de innovación tecnológica a nivel de diseño que, a partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, permite demostrar la posibilidad generar simultáneamente agua caliente y vapor de agua con lo cual son verificados los objetivos mencionados en la presente tesis, los cuales están relacionados a la reducción de la emisión de gases de combustión y la sostenibilidad.

Esta reducción en la emisión de gases de combustión favorece a disminuir la contaminación ambiental y al desarrollo sostenible debido a la propuesta de generación simultánea de agua caliente y vapor mediante el diseño de una caldera piro acuotubular.

Según las hipótesis mencionadas se puede establecer que la caldera piro acuotubular reduce la emisión de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor, esto es verificado por introducir un volumen de agua en la cámara de combustión rodeando a la cámara de encendido u hogar

Se produce un aprovechamiento de energía, que es posible debido a que la cámara de combustión contiene en su interior una cámara de encendido y la superficie externa de esta se encontrará rodeada de agua que recircula con la finalidad de que se aproveche el calor de combustión, obteniéndose de esta manera agua caliente. Además, para optimizar el área de transferencia de la cámara de encendido, los gases de combustión son retenidos debido a la forma de la cámara de combustión, aprovechando el calor de combustión transferido por los gases.

De esta forma, facilitan una mayor velocidad de calentamiento del agua y generan un menor consumo de combustible. Para el caso de la generación de vapor, el domo ubicado en la parte superior de la caldera aprovecha el calor generado por los gases de combustión, obteniendo una mayor velocidad de generación del vapor.

El desarrollo sostenible es favorecido debido a la generación simultánea de agua caliente y vapor, porque permite un mejor aprovechamiento de los gases de combustión, al generar en menor tiempo el agua caliente y vapor de agua. Así mismo, la temperatura de emisión de los gases de combustión es reducida, lo cual contribuye disminuir el calentamiento global y reducir la contaminación ambiental, simultáneamente también contribuye a elevar la eficiencia térmica de la caldera piro acuotubular.

La suma de los calores necesarios según se desprende de la Tabla 11 para obtener solo agua caliente y solo vapor en paralelo para la misma potencia de la unidad es un valor mayor que el de la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua esto tiene como consecuencia que la cantidad de combustible consumido para generar agua caliente y vapor también tenga un menor valor.

En el cálculo anual de combustible consumido se refleja la misma tendencia es decir la generación simultánea de agua caliente y vapor tiene un menor valor que la generación de agua caliente y vapor de agua en paralelo en unidades diferentes de la misma potencia y en el mismo Nro. de horas al año de operación tal como se observa en la Tabla 12

En el cálculo anual sobre la cantidad de gases emitidos al medio ambiente la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua influye significativamente en la reducción de gases emitidos al medio ambiente como se observa en la Tabla 13 donde la comparación de CO₂ y CO tienen valores muy inferiores en comparación a las opciones de generar solo agua caliente o solo vapor de agua en forma paralela

La descarbonización es muy importante en el Desarrollo Sostenible y como se puede observar en la Tabla 14 comparando los valores de carbón que se emiten al medio ambiente para el cálculo anual de 8760 horas/año la generación simultanea de agua caliente y vapor emite valores significativamente menores comparado con las otras alternativas como el de la emisión de calderas operando en paralelo.

5.2 Discusión de resultados

Esta propuesta innovadora para la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y reducción en la emisión de carbón al medio ambiente tiene correlato con la modificación en el diseño de una caldera efectuada en el diseño por Robert Wejkowsky en el año 2016 en su trabajo de investigación que denominó “ Triple fine tubes increaseng effiencie decrasing C02 pollution of a steam boiler” en que logra incrementar la eficiencia térmica una eficiencia térmica de 90%, así como la reducción en la temperatura de gases de combustión de 158.8 °C hasta 138 °C y también reducir la emisión de C02 hasta en 826 toneladas al año, del mismo modo Strusnik, Golob, Avsec publican en al año 2014 un artículo científico en el que mediante un sistema de redes neuronales y en base a un estudio del medio ambiente predicen el comportamiento de una central térmica a carbón con tres calderas acuotubulares y mediante este método proponen lograr reducir la emisión de C02 en 5, 628 toneladas al año.

Para la formulación del nuevo diseño de la caldera de generación simultánea de agua caliente y vapor del presente trabajo de investigación fue necesario considerar el desarrollo de una segunda generación o mejora tecnológica de un primer trabajo de investigación denominado “Dimensionamiento y construcción de una caldera vertical mixta (piro acuotubular) multipropósito de tres pasos para optimizar el nivel de eficiencia térmica con combustibles alternativos” desarrollado y construido en la presentación de mi tesis de maestría , en proceso de patente, evaluado por INDECOPI en el nivel de patente de invención.

El diseño de la caldera piro-acuotubular, es considerado un diseño innovador, que aprovecha la cámara de combustión de la caldera para generar de forma simultánea agua caliente y vapor de agua, este tipo de generación se produce en un solo equipo, orientado a la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero sobre todo contribuir a la descarbonización del medio ambiente, así mismo en el presente trabajo de investigación en la Figura 30 se observa la cámara de combustión, donde el agua a calentar circula externamente

a la cámara de encendido u hogar, del mismo modo en la Figura 33 se observa el domo conteniendo el agua caliente para la generación de vapor. Analizando la Tabla 11 referido al consumo de combustible y de calores necesarios para la generación de agua caliente y vapor de agua en forma separada y en forma simultánea se observa que la suma de los consumos de combustibles de generación paralela de agua caliente y vapor de agua es mucho mayor que el consumo de la generación simultánea, del mismo modo la cantidad de calor necesario para la generación en paralelo es mucho mayor al necesario para la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua en el caso teórico como en el caso real. Este diseño innovador resuelve un problema tecnológico a nivel mundial por cuanto luego de la búsqueda de opciones similares no fue posible encontrar en el mercado de fabricantes una caldera que sea piro acuotubular, vertical de tres pasos de gases y que simultáneamente genere agua caliente y vapor de agua.

5.3 Evaluación del impacto ambiental

Tal como se observa en las siguientes Tablas 15 y 16 la disminución de gases de efecto invernadero emitidos al ambiente disminuye sensiblemente en el cálculo anualizado tanto para la emisión de CO₂ y CO, del mismo modo se observa que la reducción en la emisión del carbón al medio ambiente se reduce significativamente con lo que se está demostrando que el diseño del nuevo tipo de caldera generando en forma simultánea agua caliente y vapor de agua tiene un impacto positivo en el medio ambiente respecto a la generación paralela de agua caliente y vapor de agua; con lo que se demuestra que es totalmente favorable y está enmarcado dentro los objetivos de la Agenda 2030; por cuanto esta innovación tecnológica es una de las exigencias de la sostenibilidad en el marco de lo que se requiere para el Desarrollo Sostenible, es necesario tener en cuenta que es una exigencia muy actual, si se requiere contribuir al mejoramiento de la calidad del aire y la temperatura del medio ambiente y de esta forma reducir el efecto invernadero.

Tabla 15*Reducción de gases emitidos al ambiente en porcentaje*

Tipo de fluido	Gases emitidos	Gases de combustión emitidos al ambiente				Reducción %
		Kg/hr	Kg/día	Kg/Mes	Kg/Año	
Agua caliente	CO2	992.0	23 808.00	724 160.00	8 689 920.00	44.35
	CO	3.05	73.30	2 229.42	26 753.04	44.27
Vapor de agua	CO2	790.72	18 977.28	577 225.60	6 926 707.20	55.65
	CO	2.43	58.32	1 773.90	21 286.80	55.66
Generación paralela	CO2	1 782.72	42 785.28	1 301 385.60	15 616 627.20	0.00
	CO	5.48	131.52	4 000.40	48 004.80	0.00
Generación simultánea	CO2	790.72	18 977.28	577 225.60	6 926 707.20	55.65
	CO	2.43	58.32	1 773.90	21 286.80	55.66

Nota: Tabla que muestra la reducción de gases emitidos al medioambiente por alternativa de generación. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16*Reducción en la emisión de carbón al medio ambiente, por tipo de fluido en porcentaje*

EMISION DE CARBÓN AL MEDIO AMBIENTE					
Tiempo	Agua caliente	Vapor de agua	Paralela Agua caliente + vapor	Simultánea Agua caliente + vapor	Reducción %
1 hr/día kg	271.85	216.69	488.54	216.69	55.64
24hr/día kg	6 254.4	5 200.56	11 274.96	5 200.56	53.87
720 hr/mes kg	195 732	156 016.8	351 748.8	156 016.8	55.64
8760 hr/año kg	2 381 406	1 898 204.4	4 279 610.4	1 898 204.4	55.64

Nota: Tabla que muestra la reducción en la emisión del carbón al medio ambiente por alternativa de generación. Fuente: Elaboración Propia

5.4 Evaluación de la sostenibilidad

La sostenibilidad del diseño propuesto de la caldera piro-acuotubular es evaluada a partir de tres aspectos principales, los cuales son mencionados a continuación.

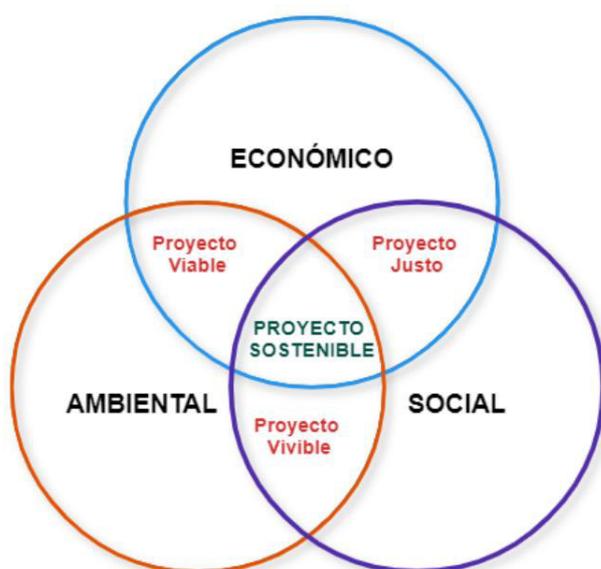
- Económico

- Ambiental
- Social

La combinación de cada uno de ellos genera un proyecto viable (económico-ambiental), proyecto justo (económico-social) y un proyecto vivible (ambiental-social). La unión de los tres aspectos generará un proyecto sostenible, ver la Figura 36.

Figura 36

Pilares de los proyectos sostenibles



Nota: Elementos fundamentales que componen un proyecto de desarrollo sostenible Fuente: Elaboración Propia

En lo económico, esta caldera tiene un potencial muy interesante sobre su presencia en el mercado, por considerar este prototipo una segunda invención, la primera es comentada en el trabajo de Aguilar (2019). Siendo la diferencia de esta segunda invención la producción simultánea de agua caliente y vapor de agua

En lo ambiental, las emisiones y residuos son disminuidos y la temperatura de los mismos es reducida, generando un mejor aprovechamiento de los gases de combustión, y generando un menor impacto ambiental, que otras calderas industriales.

En lo social, la contribución de este tipo de diseños genera una responsabilidad del producto, por garantizar mejores condiciones de trabajo para los operarios que trabajan con este tipo de calderas, y un ambiente con mayor confort, por disminuir los riesgos de salud que pueden generar estas calderas.

De acuerdo con los lineamientos trazados por CEPAL dentro de las políticas para cerrar las brechas del Desarrollo Sostenible se requiere implementar la Descarbonización, el Cambio Estructural y el Progreso Técnico y justamente el presente trabajo de investigación con el aporte del diseño de la caldera de generación simultánea de agua caliente y vapor de agua busca colaborar con la descarbonización y contribuir al progreso técnico que es la base para el cambio estructural, sobre políticas para cerrar las brechas del desarrollo sostenible.

Analizando los objetivos de la Agenda 2030 dentro de sus acuerdos en el objetivo Nro. 9 considera como título la industria innovación e infraestructura y dentro de estos requerimientos el presente trabajo de investigación presenta un diseño nuevo de caldera para la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua como una innovación tecnológica que puede estar al servicio de la industria y dentro de la infraestructura productiva de sus procesos industriales

Así mismo el objetivo Nro. 7 trata sobre la energía asequible y no contaminante con este nuevo diseño se busca acercarse de algún modo a este requerimiento por cuanto el agua caliente y el vapor de agua son fluidos portadores de energía a través de la temperatura y/o presión y son asequibles y no contaminan el medio ambiente.

La agenda 2030 también en su objetivo Nro. 11 trata sobre ciudades y comunidades sostenibles y precisamente con este diseño propuesto al reducir la emisión de gases de efecto invernadero y reducir la temperatura del medio ambiente se conduce a la sostenibilidad tal como se expresa en el marco teórico los documentos emitidos y realizados por CEPAL considera que la temperatura del medio ambiente no debe incrementarse más allá de 1,5°C

hasta el año 2030 a fin de evitar catástrofes naturales de graves consecuencias para la humanidad y las diversas especies vivientes en el planeta tierra debidas al cambio climático

VI. CONCLUSIONES

- La caldera piro acuotubular para la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua reduce la emisión de gases de efecto invernadero el cual será útil para contribuir al Desarrollo Sostenible. Así mismo permite resolver una limitante de carácter tecnológico mediante un diseño de innovación tecnológica, el cual consiste en combustionar un tipo de combustible y obtener a partir del calor generado en la combustión dos fluidos (agua caliente y vapor de agua) portadores de calor para usos industriales y/o domésticos, debido a que el progreso técnico es de gran importancia para minimizar las consecuencias perjudiciales sobre el medio ambiente.
- El objetivo es determinar la influencia en la reducción de gases con la caldera piro acuotubular (mixta) que en su proceso de combustión entrega como resultado una cantidad de gases de combustión de efecto invernadero emitidos al ambiente y la cantidad de carbón simultáneamente. Como se desprende del análisis en la Tabla 12 se obtiene que el consumo anualizado de combustible se reduce en 26.2% para generación simultánea de agua caliente y vapor de agua (213 656,4 Kg) respecto a la generación paralela de agua caliente y vapor de agua (289 342,8 Kg); así mismo, se observa en la Tabla 13 que la reducción de los gases de efecto invernadero anualizado, es determinante en la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua ($C02 = 6\,926\,873.64$ Kg, $C0 = 21\,286,8$ Kg), cuyo resultado se contrasta con la generación paralela de agua caliente y vapor de agua ($C02 = 15\,616\,627.2$ Kg, $C0 = 48\,004.8$ Kg) representa una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero de 55.64% en $C02$ y 55.65% en $C0$. También al analizar la Tabla 14 que considera la cantidad de carbón por año emitido al ambiente en la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua (1 898 204.4 Kg) respecto a la generación paralela de generación de agua caliente y vapor de agua (4

279 610.4 Kg) representa una disminución de 55.65% en la emisión de carbón al medio ambiente.

Este resultado obtenido, demuestra que la generación simultánea genera importantes beneficios a la conservación del medio ambiente y reducción de la contaminación ambiental en beneficio de la humanidad y el cambio climático.

- El Desarrollo Sostenible es uno de los requisitos de la Agenda 2030 relacionados que requiere de innovaciones tecnológicas como es el presente caso del diseño de la caldera piro acuotubular (mixta) para generación simultánea porque se reduce la emisión de gases de efecto invernadero contribuyendo a la descarbonización y se encuadra dentro de los objetivos de la Agenda 2030 como son los objetivos 9, 7 y 11 al tener una sola fuente calorífica como es la combustión para obtener dos tipos de productos que pueden ser utilizados como fuente de energía de segunda categoría en un diagrama de bloques, por tanto tiene una importante influencia en el Desarrollo Sostenible.

VII. RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar que la sostenibilidad depende de las nuevas tecnologías, para ello el impulso a las políticas de descarbonización del medio ambiente debe considerarse como prioridad y la universidad debe cumplir un rol importante mediante investigaciones que contribuyan a tal fin.
- Considerar que la Agenda 2030 en su objetivo 11 y al ser este acuerdo de los diversos países del planeta, que trata sobre ciudades y comunidades sostenibles debe, no solo recomendar a los países políticas ambientales sino obligarlas a su cumplimiento referido a la reducción de los gases de efecto invernadero.
- Investigar, Innovar y desarrollar trabajos orientados a crear nuevas tecnologías que le permitan a la industria producir con residuos ambientales que sean amigables con el medio ambiente deben constituirse en políticas de Estado en nuestro país, que permitan y contribuyan a la sostenibilidad, así como reducir la contaminación ambiental.

VIII. REFERENCIAS

- Aguilar, D. (2019). Dimensionamiento y construcción de una caldera vertical mixta (piroacuotubular) multi propósito de tres pasos para optimizar el nivel de eficiencia térmica con combustibles alternativos. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/20533>.
- Aguilera, A. (2012). *Fuentes de energía y Protocolo de Kioto en la evolución del sistema eléctrico español*. [Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo]. RUO. <http://hdl.handle.net/10651/13052>.
- Amaya, P. (1982). *El sistema financiero y el sector industrial 1970-1980*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1751>.
- Beyne, W., Lecompte, S., Ameel, B., Daenens, D., Van Belleghem, M. y De Paepe, M. (2019). Dynamic and steady state performance model of fire tube boilers with different turn boxes. *Applied Thermal Engineering*, 149, 1454-1462. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.103>
- Blanco, P. (2008). *Análisis del mix óptimo futuro de tecnologías de producción de energía eléctrica en el sistema español*. [Tesis de Maestría, Universidad Pontificia Comillas]. Repositorio Comillas. <https://www.iit.comillas.edu/docs/TM-08-113.pdf>.
- Borregaard, N. y Leal, J. (2002). *El caso de Chile. En Manuales*. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Castañeda, H., Arteaga, C. y Segura, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 18(1), pp. 103-112. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561

- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (7 de Noviembre de 2016). *Avances de la Política Sectorial en el Marco de la Política General de Gobierno, OCDE y la Agenda 2030 a noviembre de 2016*. https://www.ceplan.gob.pe/documentos/_gore-ejecutivo-agenda/
- Dance, J. y Saenz, D. (2013). *Estado de la situación y gestión ambiental en Perú*. [Tesis de investigación, Universidad San Martín de Porres]. Repositorio Institucional USMP. <https://docplayer.es/58237194-Estado-de-la-situacion-y-gestion-ambiental-en-peru.html>
- Darbandi, M., Fatin, A. y Bordbar, H. (2020). Numerical study on NO_x reduction in a large-scale heavy fuel oil-fired boiler using suitable burner adjustments. *Energy*, 199, 117371. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117371>
- Font, M. y Hernández, F. (2011). Estudio de los principales procesos que originan emisiones de gases a la atmósfera. *Ciencias Holguín*, 17(1), 1-9. <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181522292013.pdf>
- Glave, M. (2005). *Coordinación entre las políticas fiscal y ambiental en el Perú*. Editorial United Nations.
- Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., Dahl, J. y Vehabovic, A. (2021). Well-to-wheel greenhouse gas emissions of heavy-duty transports: Influence of electricity carbon intensity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 102757(93), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102757>
- Horlock, J. (1997). *Cogeneration combined heat and power (CHP): Thermodynamics and economics*. Editorial Krieger.
- Horlock, J. y Bathie, W. (2004). Advanced Gas Turbine Cycles. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 126(4), 924-924. <https://doi.org/10.1115/1.1789994>

- Hou, R., Li, T., Fu, Q., Liu, D., Li, M., Zhou, Z., Li, Q., Zhao, H., Yu, P. y Yan, J. (2020). Effects of biochar and straw on greenhouse gas emission and its response mechanism in seasonally frozen farmland ecosystems. *CATENA*, 194, 104735. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104735>
- Jiménez, R., Madrigal, J. y Cabello, J. (2015). Selección de un colector solar para aumentar la temperatura del agua de alimentación al generador de vapor de la Universidad de Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*, 7(2), 64-71. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v7n2/rus09215.pdf>
- Kitto, J. y Stulz, S. (2005). *Steam: Its Generation and Use* (4ª ed.). McDermott Company. https://www.academia.edu/41737816/Steam_its_generation_and_use_Edition
- Mariano, A. (2011). *Estudio geoquímico de los fluidos volcánicos e hidrotermales del Complejo Volcánico Copahue-Caviahue y su aplicación para tareas de seguimiento*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Buenos Aires]. Biblioteca Digital UBA-FCEN. https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n4966_Agosto.
- Montero, S., Morales, L., Carrascon, S., y Cot, A. (2009). *Eficiencia energética de Edificios Residenciales*. Eficiencia Energética.
- Muñoz, J. (2008). *Sistema de generación eléctrica mediante caldero de vapor energizada por radiación solar concentrada*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional UPM. <https://oa.upm.es/1654/>
- Nigam, S., Rao, B., Kumar, N. y Mhaisalkar, V. (2016). Air Quality Index – A Comparative Study for Assessing the Status of Air Quality. 6(2), 267-274. https://www.researchgate.net/publication/292643438_Air_Quality_Index_-_A_Comparative_Study_for_Assessing_the_Status_of_Air_Quality

- Ospina, A. (2012). Estudio de viabilidad para instalar una planta de cogeneración. [tesis de pregrado, Escuela técnica superior de ingenieros de minas]Repositorio Institucional ETSIM. https://oa.upm.es/15000/1/PFC_Ana_Ospina_Martinez.pdf
- Pérez, D. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 3(3), 23-34. <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/635/597>
- Pérez, J., Urrutia, P., Olivares, J., Mejjide, A., Sánchez, E. y Gaxiola, A. (2021). Long term effects of fire on the soil greenhouse gas balance of an old-growth temperate rainforest. *Science of The Total Environment*, 755, 142442. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142442>
- Rahmani, A. y Trabelsi, S. (2014). Numerical Investigation of Heat Transfer in 4-Pass Fire-Tube Boiler. *American Journal of Chemical Engineering*, 2(5), 65. <https://doi.org/10.11648/j.ajche.20140205.12>
- The American Society of Mechanical Engineers (2005) Boiler and Pressure Vessel Code and international Code Rules for construction of heating Boiler”
- Shah, R. y Sekulic, D. (2003). *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. John Wiley y Sons.
- Strušnik, D., Golob, M. y Avsec, J. (2015). Artificial neural networking model for the prediction of high efficiency boiler steam generation and distribution. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 57, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.06.003>
- Sistema Nacional de Información Ambiental (2005). Ley general del ambiente - ley n° 28611. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>
- Tolmos, R., Naciones Unidas, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos, y CEPAL. (2004). *Desafíos y propuestas para la implementación más efectiva de instrumentos*

económicos en la gestión ambiental de América Latina y el Caribe: El caso de Perú..

CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/items/79a467c7-ab53-41d7-9e9c-7f1a2bd4ed31>

Viebahn, P., Lechon, Y. y Trieb, F. (2011). The potential role of concentrated solar power (CSP) in Africa and Europe—A dynamic assessment of technology development, cost development and life cycle inventories until 2050. *Energy Policy*, 39(8), 4420-4430. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.026>

Wejkowski, R. (2016). Triple-finned tubes – Increasing efficiency, decreasing CO2 pollution of a steam boiler. *Energy*, 99, 304-314. <https://ideas.repec.org/a/eee/energy/v99y2016icp304-314.html>

IX. ANEXOS

Anexo A

Matriz De Consistencia

DISEÑO DE UNACALDERA PIRO ACUOTUBULAR (MIXTA) PARA LA REDUCCION DE LA EMISION DE GASES DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA GENERACION SIMULTANEA DE AGUA CALIENTE Y VAPOR DE AGUA					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿De qué manera el diseño de una caldera piro acuotubular (mixta) influye en la reducción de la emisión de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua?	Proponer un diseño de una caldera piro acuotubular (mixta) que permita la reducción de la emisión de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua	El diseño de una caldera piro acuotubular (mixta) influye significativamente en la reducción de la emisión de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua.	VI= Generación simultánea de agua caliente y vapor de agua	Presión: Bar Temperatura: Grados Centígrados	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN La investigación propuesta es de tipo aplicada y tecnológica y es también una innovación tecnológica</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Es del nivel exploratoria, causal, correlacional, el enfoque es mixto, evaluando aspectos cualitativos y cuantitativos,</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN El diseño de Tesis es no experimental de tipo transeccional, correlacional y descriptivo.</p>
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VD= Reducción en la emisión de gases de Combustión	Kg de Carbón Tiempo en: Horas días, meses y años	
¿Cómo influye en la reducción de gases de combustión la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua con una caldera piro acuotubular?	Determinar la influencia de una caldera piro acuotubular (mixta) en la reducción de gases de combustión mediante la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua	La reducción de gases de combustión influye significativamente en la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua con una caldera piro acuotubular (mixta)			
¿Cómo la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua influye en el desarrollo sostenible?	Determinar la influencia de la generación simultánea de agua caliente y vapor de agua en el desarrollo sostenible.	La generación simultánea de agua caliente y vapor de agua mediante una caldera piro acuotubular influye significativamente en el desarrollo sostenible.			

Anexo B

Validación y Confiabilidad de Instrumentos

Con la finalidad de validar los resultados obtenidos para la caldera piro acuotubular propuesta en este trabajo, son utilizados los datos obtenidos de (Aguilar, 2019), los cuales son mencionados a continuación.

<u>PARA AGUA CALIENTE</u>	
• Temperatura inicial de agua	22 °C
• Temperatura final de agua	99 °C
• Temperatura de gases en la salida de la chimenea	185 °C
• Presión de la bomba de agua	1.0 bar
<u>Gases de combustión</u>	
• CO ₂	12.4%
• CO	0.05%
• O ₂	2.39%
• N ₂	85.16%
<u>Propiedades</u>	
• Combustible	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
• Densidad	519.7 kg/m ³
• PCS (Poder Calorífico Superior)	52123 kJ/kg
• Masa	6.70 kg
• Tiempo	0.65 horas
• Flujo másico	10.30 kg/hora

<u>PARA GENERAR VAPOR</u>	
• Temperatura inicial de agua	22 °C
• Temperatura final de vapor	125 °C
• Temperatura de gases en la salida de la chimenea	183 °C
• Presión de vapor	2.4 bar
<u>Gases de combustión</u>	
• CO ₂	12.4%
• CO	0.06%
• O ₂	2.40%
• N ₂	85.14%
<u>Propiedades</u>	
• Combustible	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
• Densidad	519.7 kg/m ³
• PCS (Poder Calorífico Superior)	52123 kJ/kg
• Masa	13.22 kg
• Tiempo	0.69 horas
• Flujo másico	19.16 kg/hora

Anexo C

Ley 28303 sobre Innovación Tecnológica

LEY Nº 28303

EL PRESIDENTE DEL CONGRESO
DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

LA COMISIÓN PERMANENTE DEL
CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

LEY MARCO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

TÍTULO I

OBJETO, DECLARATORIA DE INTERÉS NACIONAL, ÁMBITO DE APLICACIÓN Y PRINCIPIOS

Artículo 1º.- Objeto y definición

La presente Ley tiene por objeto normar el desarrollo, promoción, consolidación, difusión y transferencia de la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CTel) en el país.

Define las atribuciones, alcances y medios de la acción del Estado en este ámbito.

Artículo 2º.- Declaratoria de Interés nacional

El desarrollo, promoción, consolidación, transferencia y difusión de la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CTel), son de necesidad pública y de preferente interés nacional, como factores fundamentales para la productividad y el desarrollo nacional en sus diferentes niveles de gobierno.

Artículo 3º.- Ámbito de aplicación

La presente Ley es de aplicación a las entidades del sector público y privado y personas que realizan actividades en el ámbito de la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, en el país.

Artículo 4º.- Principios fundamentales

Las actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica se rigen por:

- a) El respeto a la ética para asegurar el rigor científico y la calidad.
- b) La contribución efectiva al bien común.
- c) La libertad de la investigación.
- d) El reconocimiento del saber colectivo y del aporte nacional al conocimiento universal.
- e) El respeto al derecho de propiedad intelectual, propiedad industrial y sus derechos conexos.
- f) El reconocimiento del valor social del desarrollo científico y tecnológico y sus repercusiones en la cultura nacional y en la posición del país en el contexto mundial.
- g) El planeamiento de la CTel en armonía con las exigencias económicas, sociales, culturales y ambientales del presente y con la visión colectiva del desarrollo futuro.
- h) La innovación y la creatividad que promuevan el bienestar colectivo, la producción y la aplicación de nuevos conocimientos.
- i) El establecimiento de los mecanismos de coordinación entre las dependencias y entidades de la administración pública y otras instituciones que intervienen en la definición de políticas y programas en materia de desarrollo científico y tecnológico.
- j) La vinculación y participación de la comunidad científica y académica de las instituciones de educación superior, de los sectores público, social y privado para la generación y formulación de políticas de promoción, difusión, desarrollo y aplicación de la ciencia y tecnología, así como para la formación de profesionales de la ciencia y tecnología.

...ación en una red nacional de información científica e interconexión telemática.

TÍTULO II

ROL DEL ESTADO EN LAS ACTIVIDADES DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Artículo 5º.- Rol del Estado y los objetivos nacionales

Corresponde al Estado normar, orientar, coordinar, planificar, fomentar, supervisar y evaluar el desarrollo de la CTel, para el cumplimiento de los siguientes objetivos nacionales:

- a) La generación, conservación, transferencia y utilización de conocimientos científicos y tecnológicos, en el ámbito nacional y de las diversas regiones para el óptimo aprovechamiento de los recursos y potencialidades de la nación, el impulso a la productividad y la integración beneficiosa del Perú en la sociedad global del conocimiento y en la economía mundial.
- b) La descentralización y adaptación de las actividades de CTel a nivel regional y local.
- c) La seguridad humana, el desarrollo económico y social descentralizado, la superación de las desigualdades y el estímulo a la productividad.
- d) La prevención de desastres naturales, mediante instrumentos científico-tecnológicos, para el uso racional, eficiente y sustentable de los recursos naturales.
- e) El fomento y promoción de la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico en los sectores de la producción con el fin de incentivar la creatividad, la competitividad y la producción de nuevos bienes y servicios, con miras al mercado nacional y mundial.
- f) La protección del conocimiento tradicional y el rescate, utilización y difusión de las tecnologías tradicionales.
- g) La protección de los derechos de propiedad intelectual, propiedad industrial y sus derechos conexos.
- h) El desarrollo de la cultura, la integración y la unidad de la Nación, valorando la diversidad étnico-cultural y ecológica del país y la difusión, democratización, descentralización y uso social del conocimiento científico.
- i) La defensa de la soberanía nacional, la seguridad del territorio y la atención preferente al desarrollo de las zonas fronterizas del país.
- j) La formación, capacitación, actualización y perfeccionamiento de recursos humanos altamente calificados en ciencia, tecnología e innovación tecnológica en las diferentes regiones del país.
- k) Facilitar la retención y repatriación de profesionales investigadores nacionales y la promoción de la demanda en CTel para su adecuada inserción.
- l) La promoción, divulgación e intercambio de CTel en los diferentes niveles del sistema educativo a través de museos, ferias, premios nacionales y otros mecanismos que propicien la valoración social del conocimiento, la identificación y promoción de talentos y la adopción de hábitos permanentes de investigación e innovación.
- m) El desarrollo de proyectos de CTel que permitan la incorporación productiva y la integración económica y social de las personas con discapacidad.
- n) Incrementar la capacidad científica, tecnológica y la formación de investigadores para resolver problemas nacionales fundamentales, que contribuyan al desarrollo del país y a elevar el bienestar de la población.
- o) Promover el desarrollo y la vinculación de la ciencia básica y la innovación tecnológica asociada a la actualización y mejoramiento de la calidad de la educación y la expansión de las fronteras del conocimiento, así como convertir a la ciencia y la tecnología en un elemento fundamental de la cultura general de la sociedad.

Artículo 6º.- Responsabilidades de las entidades del Estado

Es responsabilidad de las entidades del Estado concurrir a las convocatorias del CONID y coordinar con el ente rector del sistema nacional de CTel, la articulación de sus planes estratégicos sectoriales y planes operativos institucionales con el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica y de lograr la interconexión progresiva de sus sistemas de información en una red nacional de información científica e interconexión telemática.

... y uno de las universidades privadas.
Un representante de las Academias Nacionales de CTel.

Artículo 13º.- Presidencia

El Presidente del CONCYTEC es designado por decreto supremo entre una terna propuesta por la Presidencia del Consejo de Ministros, para un período de cinco (5) años. Para ser designado Presidente se requiere:

1. Ser peruano de nacimiento y ciudadano en ejercicio.
2. Tener un mínimo de veinte (20) años de reconocida trayectoria científica y/o tecnológica validada con publicaciones especializadas.
3. Tener el más alto grado académico otorgado en el país, en su especialidad.
4. Tener experiencia en gestión en ciencia y tecnología.

Artículo 14º.- Recursos

Son recursos del CONCYTEC:

- a) Los montos que le asigne el Presupuesto de la República.
- b) Los recursos provenientes de la cooperación internacional.
- c) Las donaciones y legados de personas naturales y jurídicas.
- d) Los recursos directamente recaudados.
- e) Otros que se establezcan.

Artículo 15º.- Cooperación internacional

El CONCYTEC en coordinación con el Ministerio de Economía y Finanzas y con la Agencia Peruana de Cooperación Internacional formulará un Programa de Cooperación Técnica y Financiera Internacional para CTel, el mismo que será parte de los programas de inversión pública y de financiamiento externo.

CAPÍTULO III**FONDO NACIONAL DE DESARROLLO CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO Y DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (FONDECYT)****Artículo 16º.- Creación**

Créase el Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) adscrito al

CONCYTEC, con personería jurídica de derecho público interno, con patrimonio propio, con autonomía administrativa y financiera. Está encargado de captar, gestionar, administrar y canalizar recursos, de fuente nacional y extranjera, destinados a las actividades del SINACYT en el país.

El FONDECYT desarrolla sus actividades dentro del marco de las prioridades, criterios y lineamientos de política establecidos en el Plan Nacional de CTel y los que aprueba el CONCYTEC. Los recursos del FONDECYT son intangibles.

Artículo 17º.- Directorio

El FONDECYT es administrado por un Directorio de siete (7) miembros designados por decreto supremo, cuyas funciones son ejercidas ad honorem. Está integrado por:

- a) Un miembro del Consejo Directivo Nacional del CONCYTEC, quien lo preside.
- b) Un representante de COFIDE.
- c) Un representante de la Asociación de Bancos del Perú.
- d) Un representante de las universidades integrantes del SINACYT.
- e) Un representante de los institutos de investigación integrantes del SINACYT.
- f) Un representante de las empresas privadas integrantes del SINACYT.
- g) Un representante de los Gobiernos Regionales.

Artículo 18º.- Funciones

Para el cumplimiento de sus fines, el FONDECYT tiene las siguientes funciones:

- a) Calificar la viabilidad económico-financiera de los proyectos de CTel.
- b) Intervenir en el financiamiento de los programas y proyectos regionales de CTel.
- c) Suscribir convenios sobre estudios y proyectos de investigación e innovación tecnológica con regiones y universidades.
- d) Disponer fondos para el financiamiento de proyectos de ciencias básicas.
- e) Administrar los programas de financiamiento de CTel.
- f) Coordinar con la Agencia Peruana de Cooperación Internacional para la obtención de fuentes de fi-

- nanciamiento de la cooperación técnica internacional.
- g) Suscribir los contratos de financiamiento de los proyectos seleccionados, los Contratos de incentivos en CTel y cualquier otro instrumento legal necesario para el cumplimiento de sus fines.
 - h) Otorgar donaciones, subsidios y financiar becas.
 - i) Conceder financiamientos directos e indirectos (fianzas, garantías y avales).
 - j) Contratar la realización de estudios, proyectos e investigaciones.
 - k) Contraer obligaciones de créditos directos e indirectos.
 - l) Emitir y colocar toda clase de obligaciones.
 - m) Administrar fondos cuyo destino sea compatible con los fines del CONCYTEC.
 - n) Adquirir, gravar y enajenar toda clase de bienes.
 - o) Ejecutar las actividades, actos y contratos que sean requeridos para el cumplimiento de sus fines.
 - p) Otras establecidas por ley.

Asimismo, el FONDECYT podrá encargar la administración de sus fondos a COFIDE o a otra institución financiera con participación mayoritaria del Estado.

Artículo 19º.- Recursos

Están constituidos por:

- a) Los Fondos que le transfiera el CONCYTEC, con cargo a su Presupuesto, de acuerdo a sus prioridades.
- b) Las donaciones, legados, fondos de cooperación internacional y otras contribuciones y recursos financieros, de personas naturales y jurídicas, nacionales o extranjeras, de acuerdo a ley.
- c) Los fondos que se obtengan por endeudamiento externo e interno.
- d) Las transferencias y los fondos en administración, de las entidades públicas y privadas.
- e) Los ingresos propios recaudados por la venta de publicaciones y regalías provenientes de los derechos de propiedad intelectual, propiedad industrial y sus derechos conexos.

CAPÍTULO IV

CONSEJO CONSULTIVO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA LA CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Artículo 20º.- Definición

El Consejo Consultivo Nacional de Investigación y Desarrollo para la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica es un órgano de consulta del SINACYT, conformado por las máximas autoridades de las Instituciones estatales dedicadas a la investigación, innovación tecnológica y promoción de la CTel, convocados para fines específicos y con participación ad honorem. Tiene como finalidad promover la acción concertada y la complementariedad entre los programas y proyectos de las Instituciones Integrantes del SINACYT.

Los recursos requeridos para el funcionamiento del Consejo Consultivo Nacional de Investigación y Desarrollo para la Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, serán atendidos con cargo al Presupuesto Institucional del CONCYTEC.

Artículo 21º.- Secretaría Técnica

Encárgase al CONCYTEC la Secretaría Técnica del CONID, la misma que tendrá la responsabilidad de convocar, asistir, difundir y coordinar la ejecución de sus acuerdos, recomendaciones y propuestas.

CAPÍTULO V

DE LAS INSTANCIAS REGIONALES, UNIVERSIDADES Y LOS CONOCIMIENTOS ORIGINARIOS

Artículo 22º.- Representación

Los Gobiernos Regionales están representados en el Consejo Directivo del CONCYTEC y en el Directorio del FONDECYT. Las instancias de los Gobiernos Regionales que ejecutan actividades de CTel podrán convocar a las universidades, organizaciones y empresas de su jurisdicción para el cumplimiento de sus funciones.

Artículo 23º.- De la utilización de los conocimientos originarios

El Estado, a través de las universidades y en coordinación con las comunidades campesinas y nativas, promueve

la investigación y utilización de los conocimientos originarios para la innovación tecnológica y científica, preservando y respetando los conocimientos tradicionales y folclóricos de dichas comunidades.

CAPÍTULO VI

RED NACIONAL DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA E INTERCONEXIÓN TELEMÁTICA

Artículo 24º.- Red nacional de información

El CONCYTEC promueve el establecimiento y desarrollo de la red nacional de información científica e interconexión telemática, para un manejo ágil, oportuno y eficiente de la estadística científico-tecnológica y para la obtención de la información necesaria para el planeamiento, la investigación y la promoción de CTel.

La red promoverá la difusión sistemática de los conocimientos académicos, técnicos e industriales disponibles, así como, la interacción entre los distintos integrantes del SINACYT, facilitando su acceso a fuentes de información nacionales y extranjeras. Su operación está a cargo de la correspondiente unidad especializada del CONCYTEC.

TÍTULO IV

POLÍTICA Y PLANES DE CTel

Artículo 25º.- Lineamientos

La política y el Plan Nacional de CTel fijan los alcances de la acción del Estado en este ámbito y se establecen en concordancia con las políticas de Estado y las suscritas en los espacios de concertación u otros que se convoquen para garantizar la consolidación democrática y la gobernabilidad.

Artículo 26º.- Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica

El Plan Nacional de CTel es el instrumento de propuesta y ejecución de la política nacional de CTel, forma parte de las políticas de Estado y responde a una visión geoestratégica del corto, mediano y largo plazo. Tiene como base para su elaboración el establecimiento de líneas estratégicas, la fijación de prioridades y el diseño y la articulación e implementación de programas nacionales, regionales y especiales propuestos por los sectores y entidades que conforman el SINACYT.

El Plan Nacional establece directivas y políticas vinculantes para el sector público y orientadoras para el sector privado. Su elaboración está a cargo del CONCYTEC y su aprobación se formaliza mediante decreto supremo.

TÍTULO V

FINANCIAMIENTO E INCENTIVOS PARA CTel

Artículo 27º.- Financiamiento de CTel

Comprende los recursos financieros destinados a fomentar y hacer posible la investigación científica y el desarrollo tecnológico en el país, teniendo en cuenta los criterios de eficiencia y equidad para su distribución y utilización.

Artículo 28º.- Asignaciones regionales

Los Gobiernos Regionales podrán considerar en sus respectivos presupuestos anuales una asignación para el financiamiento de proyectos de investigación científica y de innovación tecnológica en su jurisdicción, de acuerdo a la normatividad vigente.

Artículo 29º.- Régimen de Incentivos

El Régimen de Incentivos de CTel articula los mecanismos promocionales, a fin de racionalizarlos y adecuarlos a las prioridades y disponibilidades del país, potenciando su impacto y resultados, en particular, en la interacción comunidad científica-empresa.

Artículo 30º.- Contrato de Incentivos

El Contrato de Incentivos para la Promoción y el Desarrollo de la CTel, es el instrumento a través del cual se formaliza el otorgamiento de incentivos y beneficios que la ley establece para las empresas, instituciones, organizaciones e investigadores que ejecuten actividades o proyectos de CTel o de su transferencia y difusión, provenientes de fuente nacional o extranjera.

El contrato será suscrito por el FONDECYT.

Artículo 31º.- Incentivos para la creación de parques tecnológicos

El Estado a nivel nacional, a través del CONCYTEC, en colaboración con los Gobiernos Regionales, las universidades, las empresas privadas, fomenta la creación de Parques Tecnológicos.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS, TRANSITORIAS Y FINALES

PRIMERA.- El Poder Ejecutivo reglamenta la presente Ley dentro de los ciento veinte (120) días naturales contados a partir de su publicación en el Diario Oficial El Peruano. Con tal fin se elaborará el respectivo anteproyecto, el que será pre publicado dentro de los noventa (90) días naturales siguientes a la promulgación de la presente Ley.

SEGUNDA.- El Poder Ejecutivo, dentro de los noventa (90) días naturales siguientes e improrrogables a la aprobación de la presente Ley, remite al Congreso de la República las iniciativas legislativas sobre:

1. Ley de adecuación del CONCYTEC, y
2. Ley de incentivos, promoción de la inversión, exoneraciones y régimen tributario especial para las actividades de CTel.

TERCERA.- En tanto se dé la ley a que se refiere la Segunda Disposición Transitoria, seguirá vigente el actual CONCYTEC, tal como está normado en el Decreto Legislativo Nº 112. En lo que corresponda, adecuará su funcionamiento a lo establecido en la presente Ley.

CUARTA.- Las diversas entidades públicas vinculadas al desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación tecnológica, adecuarán su funcionamiento a lo dispuesto en la presente Ley.

Los gastos que demande esta adecuación, se atenderán únicamente con cargo a los presupuestos institucionales de las entidades involucradas, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público.

QUINTA.- El incremento del presupuesto destinado a la investigación científica y al desarrollo experimental, de conformidad con lo establecido en el artículo 27º de la presente Ley, se realizará gradual y progresivamente.

SEXTA.- El CONCYTEC, en un plazo no mayor de ciento ochenta (180) días naturales, elaborará el primer Proyecto Piloto de Parques Tecnológicos.

SÉTIMA.- El Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica que se crea en el Capítulo III, del Título III de esta Ley, entrará en vigencia a partir del ejercicio presupuestal del año 2005.

OCTAVA.- Forman parte de la presente Ley, los siguientes anexos:

- Anexo 1 – Glosario de Términos.
- Anexo 2 – Entidades Integrantes del Sistema.

NOVENA.- Deróganse o modifícanse, según sea el caso, las disposiciones legales que se opongan a la presente Ley.

POR TANTO:

Habiendo sido reconsiderada la Ley por el Congreso de la República, aceptándose las observaciones formuladas por el señor Presidente de la República, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 108º de la Constitución Política del Estado, ordeno que se publique y cumpla.

En Lima, a los veintitrés días del mes de julio de dos mil cuatro.

HENRY PEASE GARCÍA
Presidente del Congreso de la República

MARCIANO RENGIFO RUIZ
Primer Vicepresidente del Congreso de la República

13993

Anexos de la Ley Marco de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica

(La Ley de la referencia fue publicada en nuestra edición del día 27 de julio de 2004)

ANEXOS - LEY Nº 28303

LEY MARCO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

ANEXO Nº 1

GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. **Actividades de Ciencia y Tecnología (ACT):** Son aquellas actividades sistemáticas, estrechamente relacionadas con la generación, producción, difusión y aplicación del conocimiento científico y técnico en todos los campos de la ciencia y la tecnología. Incluyen actividades tales como:
 - Investigación y Desarrollo Experimental (I + D)
 - Enseñanza y la formación científico-técnica.
 - Servicios científicos y técnicos.
2. **Ciencia:** Término que en su sentido más amplio se emplea para referirse al conocimiento sistematizado en cualquier campo, pero que suele aplicarse sobre todo a la organización de la experiencia sensorial objetivamente verificable. La búsqueda de conocimiento en ese contexto se conoce como "ciencia pura", para distinguirla de la "ciencia aplicada" - la búsqueda de usos prácticos del conocimiento científico- y de la tecnología, a través de la cual se llevan a cabo las aplicaciones.
3. **Enseñanza y formación Científico-Técnica (EFCT):** Corresponde a las actividades de nivel superior especializado no universitario, de enseñanza y formación superiores tendientes a la obtención de un título universitario, de formación y de perfeccionamiento post-universitario, y de formación permanente organizada de científicos e ingenieros.
4. **Investigación Científica y Desarrollo Experimental (I+D):** Comprende el trabajo creativo llevado a cabo en una forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la naturaleza, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para derivar nuevas aplicaciones.
Puede incluir el desarrollo de prototipos y plantas piloto. Comprende la investigación básica y aplicada y el desarrollo experimental.
5. **Innovación Tecnológica:** Es la interacción entre las oportunidades del mercado y el conocimiento base de la empresa y sus capacidades; implica la creación, desarrollo, uso y difusión de un nuevo producto, proceso o servicio nuevo y los cambios tecnológicos significativos de los mismos. Implica también cambios en las formas de organización y administración: métodos de organización, reingeniería de procesos, planeamiento estratégico, control de calidad, etc.
6. **Servicios Científicos y Tecnológicos (SCT):** Son las actividades relacionadas con la investigación y el desarrollo experimental que contribuyen a la producción, difusión y aplicación de conocimientos científicos y técnicos. La UNESCO los divide en nueve tipos de servicios:
 - Bibliotecas, centros de información, etc.
 - Museos.
 - Traducción y publicación de documentación de CyT.
 - Trazados e Informes (geológicos, hidrológicos, etc.).
 - Análisis prospectivos.
 - Obtención de datos socioeconómicos.

- Normalización, control de calidad, etc.
- Asesoramiento en temas agrícolas e industriales.
- Actividades de patentes y licencias.

7. **Tecnología:** Es un conjunto ordenado de instrumentos, conocimientos, procedimientos y métodos aplicados en las distintas ramas industriales para alcanzar un objetivo específico, generalmente el de producir y distribuir un bien o servicio.

(Conceptos extraídos del Manual de Frascati (OCDE 1994).

ANEXO Nº 2

ENTIDADES INTEGRANTES DEL SISTEMA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Centros e Institutos de Investigación de universidades públicas y privadas que califiquen.

Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial - CONIDA.

Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos - CONACS.

Instituto Antártico Peruano - IAP.

Instituto Geográfico Nacional - IGN.

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAF.

Instituto del Mar del Perú - IMARPE.

Instituto Geofísico del Perú - IGP.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

Instituto Nacional de Becas y Crédito Educativo - INABEC.

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI.

Instituto Nacional de Investigación Agraria - INIA.

Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones - INICTEL.

Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA.

Instituto Nacional de Salud - INS.

Instituto Peruano de Energía Nuclear - IPEN.

Instituto Tecnológico Pesquero - ITP.

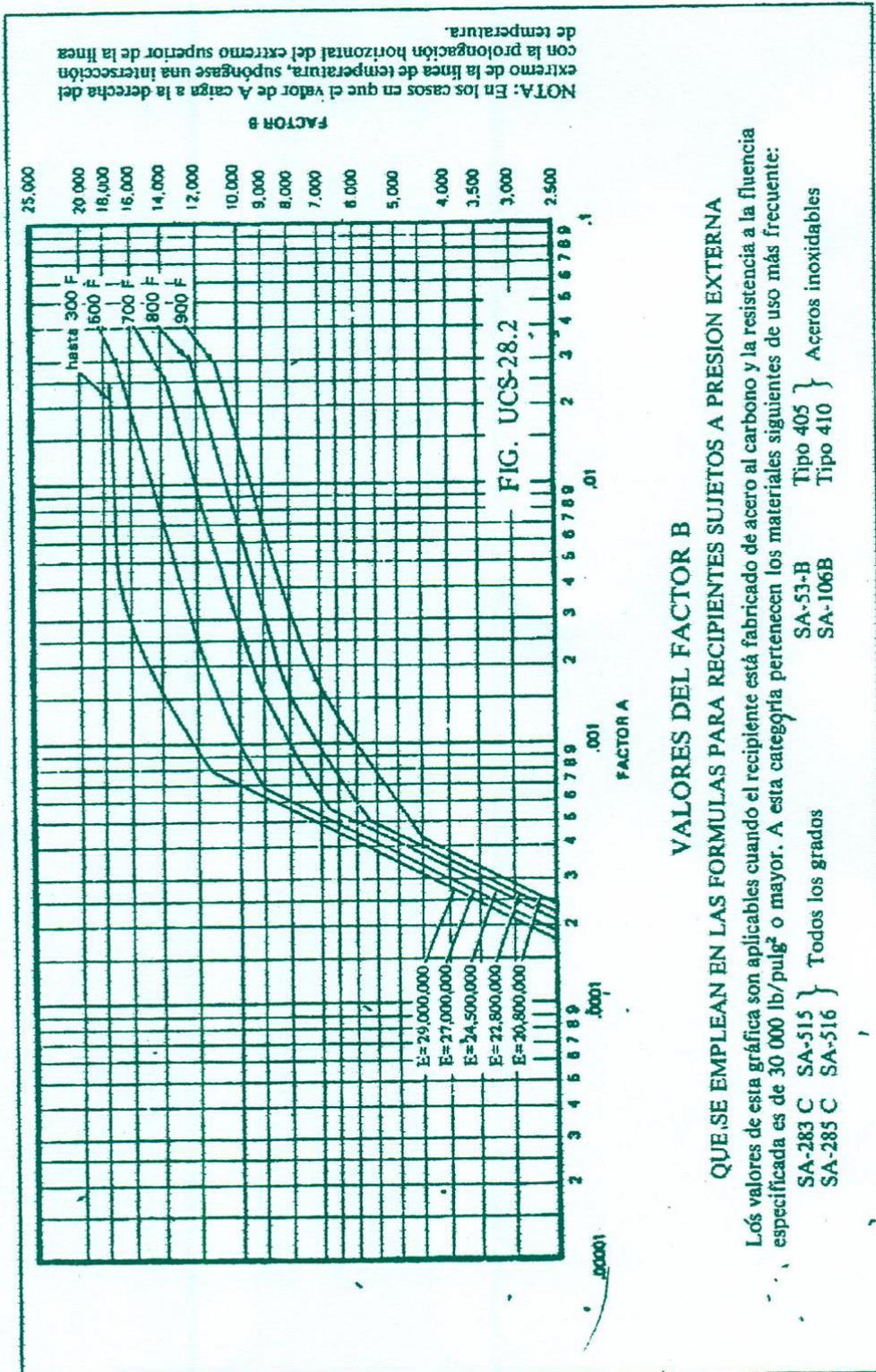
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI.

Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA.

14097

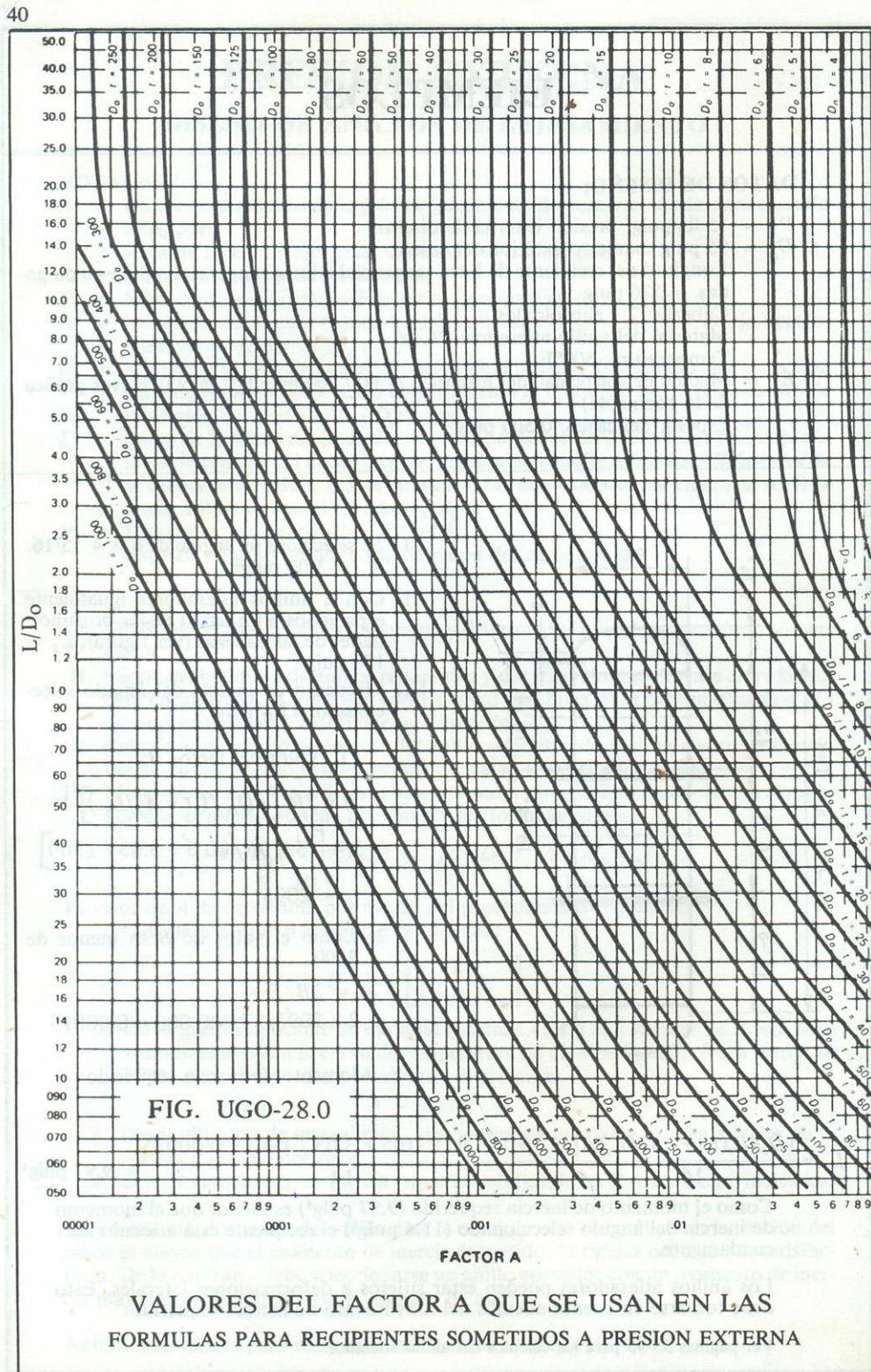
Anexo D

Valores del factor B que se emplean en las fórmulas para recipientes sujetos a presión externa.



Anexo E

Valores del factor B que se emplean en las fórmulas para recipientes sujetos a presión externa.



Anexo F*Tablas de vapor saturado*

Título de la obra original:

Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Second Edition

Edición original en lengua inglesa publicada por:

John Wiley & Sons, Inc.

Copyright © John Wiley & Sons, Inc.

Equipo de traducción:

Jesús Guallar

Miguel Ángel Lozano

José María Marín

José Antonio Turégano

María Carmen Velasco

Coordinador: José Antonio Turégano

Propiedad de:

EDITORIAL REVERTÉ, S.A.

Loreto, 13-15, Local B

08029 Barcelona

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

Edición en español

© **EDITORIAL REVERTÉ, S.A., 1993**

Impreso en España - Printed in Spain

ISBN - 84 - 291 - 4171 - 5

Obra completa

ISBN - 84 - 291 - 4168 - 5

Primer tomo

Depósito Legal: B - 34037 - 1993

Impreso por LIBERGRAF, S.A.

Constitución 19, interior (Can Batlló)

08014 BARCELONA

TABLA A-3 Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones.

Presión bar	Temp. °C	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		Presión bar
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. v_g	Líquido sat. u_f	Vapor sat. u_g	Líquido sat. h_f	Vapori- zación h_{fg}	Vapor sat. h_g	Líquido sat. s_f	Vapor sat. s_g	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0528	1.159	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	2.00
2.50	127.4	1.0672	0.7187	535.10	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	7.0527	2.50
3.00	133.6	1.0732	0.6058	561.15	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	6.9919	3.00
3.50	138.9	1.0786	0.5243	583.95	2546.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	6.9405	3.50
4.00	143.6	1.0836	0.4625	604.31	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	6.8959	4.00
4.50	147.9	1.0882	0.4140	622.25	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	6.8565	4.50
5.00	151.9	1.0926	0.3749	639.68	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	6.8212	5.00
6.00	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600	6.00
7.00	165.0	1.1080	0.2729	696.44	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	6.7080	7.00
8.00	170.4	1.1148	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628	8.00
9.00	175.4	1.1212	0.2150	741.83	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	6.6226	9.00
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863	10.0
15.0	198.3	1.1539	0.1318	843.16	2594.5	844.84	1947.3	2792.2	2.3150	6.4448	15.0
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	6.3409	20.0
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2603.1	962.11	1841.0	2803.1	2.5547	6.2575	25.0
30.0	233.9	1.2165	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	6.1869	30.0
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1045.4	2603.7	1049.8	1753.7	2803.4	2.7253	6.1253	35.0
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7964	6.0701	40.0
45.0	257.5	1.2692	0.04406	1116.2	2600.1	1121.9	1676.4	2798.3	2.8610	6.0199	45.0
50.0	264.0	1.2859	0.03944	1147.8	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	5.9734	50.0
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1205.4	2589.7	1213.4	1571.0	2784.3	3.0267	5.8892	60.0
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1257.6	2580.5	1267.0	1505.1	2772.1	3.1211	5.8133	70.0
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.3	2758.0	3.2068	5.7432	80.0
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1350.5	2557.8	1363.3	1378.9	2742.1	3.2858	5.6772	90.0
100.	311.1	1.4524	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3596	5.6141	100.
110.	318.2	1.4886	0.01599	1433.7	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	5.5527	110.

TABLA A-3 (Continuación)

Presión bar	Temp. °C	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		Presión bar
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. v_g	Líquido sat. u_f	Vapor sat. u_g	Líquido sat. h_f	Vapori- zación h_{fg}	Vapor sat. h_g	Líquido sat. s_f	Vapor sat. s_g	
120.	324.8	1.5267	0.01426	1473.0	2513.7	1491.3	1193.6	2684.9	3.4962	5.4924	120.
130.	330.9	1.5671	0.01278	1511.1	2496.1	1531.5	1130.7	2662.2	3.5606	5.4323	130.
140.	336.8	1.6107	0.01149	1548.6	2476.8	1571.1	1066.5	2637.6	3.6232	5.3717	140.
150.	342.2	1.6581	0.01034	1585.6	2455.5	1610.5	1000.0	2610.5	3.6848	5.3098	150.
160.	347.4	1.7107	0.009306	1622.7	2431.7	1650.1	930.6	2580.6	3.7461	5.2455	160.
170.	352.4	1.7702	0.008364	1660.2	2405.0	1690.3	856.9	2547.2	3.8079	5.1777	170.
180.	357.1	1.8397	0.007489	1698.9	2374.3	1732.0	777.1	2509.1	3.8715	5.1044	180.
190.	361.5	1.9243	0.006657	1739.9	2338.1	1776.5	688.0	2464.5	3.9388	5.0228	190.
200.	365.8	2.036	0.005834	1785.6	2293.0	1826.3	583.4	2409.7	4.0139	4.9269	200.
220.9	374.1	3.155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298	220.9

H₂O