



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA COMO  
GENERADOR ELÉCTRICO AUXILIAR PARA  
EL HOSPITAL CENTRAL DR.  
ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA**

**Autores**

Estraño Mario

C.I.: V- 22.416.917

Serrano Marval Alejandra

C.I.: V- 26.019.164

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA COMO GENERADOR  
ELÉCTRICO AUXILIAR PARA EL HOSPITAL CENTRAL DR.  
ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA**

Proyecto del Trabajo de Grado presentado para optar al título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

**Autores:** Estraño Mario  
C.I.: V- 22.416.917  
Serrano Marval Alejandra  
C.I.: V- 26.019.164  
**Tutor:** Ing. Alicia Yánez de Pizzella

San Diego, enero de 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

**ACTA DE APROBACIÓN**

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Diseño de una Caldera de Biomasa como Generador Eléctrico Auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Realizado por el (la) Br. Esteban D'Arma Mario A.

C.I. N° 22416917 cursante de la carrera de Ingeniería

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

**El Jurado**

[Signature]  
Tutor Académico (Coordinador)  
Nombre: Jacinto del Junco  
C.I.: 4598880

[Signature]  
Jurado  
Nombre: Wiston Espinoza  
C.I.: 9885895

[Signature]  
Jurado  
Nombre: Donato Romanello  
C.I.: 4131877 pr.  
Yndira Rodríguez

Fecha: 24, 1, 2022



[Signature]



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Diseño de una Caldera de Biomasa como Generador Eléctrico auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Realizado por el (la) Br. Serrano Maival Alejandra M.  
C.I. N° 26019164 cursante de la carrera de Ingeniería

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO  NO APROBADO

El Jurado

[Signature]  
Tutor Académico (Coordinador)  
Nombre: Felicia del Pizal  
C.I.: 4598880

[Signature]  
Jurado  
Nombre: Wilson Espinoza  
C.I.: 4885895

[Signature]  
Jurado  
Nombre: Donato Romanello  
C.I.: 4131872 por  
Jandira Rodriguez

Fecha: 24/01/2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DECANATO DE INGENIERÍA



FI-N-003-2021-1CR-TG

Valencia, 15 de noviembre de 2021

Ciudadanos:

Estraño D Aroma, Mario Adolfo

C.I. 22.416.917

Serrano Marval, Alejandra María

C.I. 26.019.164

Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 6-2021 de fecha 15/10/2021 aprobó el proyecto de grado titulado:

**Diseño de una caldera de biomasa como generador eléctrico auxiliar para el hospital central  
Dr. Enrique Tejera de Valencia.**

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que los asesorará en el desarrollo de este proyecto a:  
Ing. Alicia Teresa Yáñez de Pizzella, titular de la cédula de identidad V-4.598.880



Atentamente

**Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.**  
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA  
DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. Alicia de Pizzella, portador de la cédula de identidad N°4.598.880, hace constar que ha leído el proyecto de trabajo de grado, presentado por los ciudadanos Mario Adolfo Estraño D'Aroma, N°22.416.917 y Alejandra María Serrano Marval, N°26.019.164, titulado **DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA COMO GENERADOR ELÉCTRICO AUXILIAR PARA EL HOSPITAL CENTRAL DR. ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA**, presentado como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO MECÁNICO**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 16 días del mes de diciembre del año dos mil veintiuno.

Ing. Alicia de Pizzella  
C.I. 4.598.880

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero quiero agradecer a Dios, por ser quien soy, por realizarme académicamente, solo él sabe lo que esto significa para mí y el desafío que ha sido, los altibajos que he tenido, y que nada hubiese sido posible sin las personas, con las que compartí, viví o influyeron en mí, me sobrarían las palabras y sentimientos para las personas que menciono explícita y generalmente, pero indudablemente se merecen esto y mucho más.

Gracias a mi Madre Liliana D'Aroma, por estar todos los días para mí.

Gracias Elizabeth Cazorla mi abuela por ser mi segunda madre y guiarme.

Gracias a la Dra. Luisana Estraño mi hermana, por siempre estar para mí.

Gracias a Victoria Henríquez mi abuela, por enseñare tan buenas cosas.

Gracias a mi novia Selene Rendón, por apoyarme siempre, tú sabes y eres testigo de todo esto.

Gracias a Valentina Estraño mi hermana, por Compartir inolvidables momentos.

Gracias a Pedro Estraño mi Padre por apoyarme siempre a pesar de la distancia

Gracias a Hialmar Oliveros, a mis tías, tíos en especial Morella D'Aroma, Eliana Estraño, Franklin Taylor, Nelly, Maritza, Belitza y Carlota, así como a Elba Cazorla mi madrina, por su apoyo verdadero desde que era niño, gracias a mi familia en general.

Gracias a mis profesores por impartir sus conocimientos y valores, en especial a mi Tutora de Este Trabajo Alicia de Pizzella y su esposo Giovanni Pizzella, a mis compañeros y amigos, en especial a los que hice en esta universidad, a mi Amiga, colega y compañera Alejandra con quien realizo este trabajo con dedicación, también agradezco de alguna forma a las personas que se han ido de esta vida, y dejaron su huella en mí y estoy seguro que les hubiese gustado ver esto, en especial a mis abuelos Pedro L. Estraño y Mario D'Aroma, todo esto es para ustedes, mi más sincero agradecimiento por hacer esto posible, siempre estaré agradecido con ustedes y los llevare en mi corazón al igual que todo lo que me han enseñado y hecho por mí.

**Mario Adolfo Estraño D'Aroma**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, doy gracias a Dios y a la Virgen del Valle, por haberme permitido culminar mis estudios, por siempre iluminar y acompañarme en este recorrido.

Gracias a mis padres Aleana Marval y Jesús Serrano, quienes son un pilar en mi vida, gracias por su apoyo y amor incondicional, gracias por siempre incentivar me a superarme, de ustedes también es este logro.

Gracias a mis abuelos maternos Pedro Marval y Ana Grau de Marval, ustedes también son un pilar en mi vida, gracias por compartir mis logros, por cada uno de sus consejos y por su amor incondicional. Abuela sé que estarás orgullosa de mí donde quiera que estés. De ustedes también es este logro

Gracias a mi párroco el Padre Luis E Padrón P y a la Familia Ramírez Rojas, por su apoyo y cariño incondicional, gracias por siempre darme animo a seguir adelante.

Gracias a mis hermanos de la vida, Samuel Martínez, Emerson Diaz, Jesús Mujica, Francisca Torres y su familia, Guillermo Mora, Yosmar Sevillas y Randy Chiquito por su apoyo incondicional, gracias por siempre incentivar me a dar el 100% de mí.

Gracias a mi familia Marval Grau; en especial a mi hermano Jesús Serrano, a mis tías Ana y Adriana Marval; a mis primas Anayro Cubero y Anaela Betancourt y a mis tíos abuelos Alberto y Cristina Grau; a toda mi familia gracias por su amor y apoyo.

Un especial agradecimiento a quienes no están en este plano terrenal, pero que durante mucho tiempo me regalaron su amor y apoyo, Santiaga de Pacheco, Fany Quevedo y mi querida profesora Violeta Núñez

Gracias a mi familia de mi parroquia eclesial San Antonio de Padua, Los Guayos, Juan Canelón, Carmen Galea, Carmen Suarez, Liliana Morales, Yamir Medina, Lope Alastre y demás feligresía, gracias por su apoyo y celebrar conmigo mis triunfos

Gracias a mis profesores que durante mi carrera me brindaron siempre su apoyo y buenos consejos, Yris Torrealba, Gruber Caraballo y mi tutora Alicia de Pizzella

Gracias a mi compañero y próximo colega Mario Estraño, gracias por aceptar este reto conmigo, gracias por compartir y cumplir esta meta conmigo. TQM

**Serrano Marval Alejandra Maria**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo primeramente a Dios todopoderoso por siempre bendecirnos, acompañarnos e iluminarnos a lo largo de nuestras vidas

A nuestros padres, por su amor incondicional, por siempre apoyarnos e incentivarnos a seguir luchando por nuestros sueños y metas

A nuestros abuelos por siempre estar con nosotros ayudándonos a seguir adelante con nuestros propósitos en la vida incluso desde el cielo

A nuestros seres queridos, por siempre estar y ayudarnos a lo largo de nuestra carrera

A nuestros amigos y compañeros por su apoyo hombro a hombro a lo largo de la carrera

A nuestros profesores y su incansable esfuerzo y dedicación por la vocación de enseñar las buenas prácticas en la ingeniería

A las instituciones y casas de estudios que nos aportaron tanto en nuestra formación académica, social y general para ser quienes somos hoy

A todo el conocimiento aprendido que hoy tenemos y las experiencias que nos formaron durante todo este periodo universitario

A los momentos inolvidables y que guardamos en nuestros corazones y memorias, con las personas que se convirtieron en hermanos y hermanas

A todas esas veces en las que pensábamos que no podíamos y nos dimos cuenta luego de lo que logramos

A todas las cosas y acontecimientos que tuvieron que pasar para hoy tener la madurez y el pensamiento que manejamos

A todo el esfuerzo, lagrimas, alegrías y demás emociones a lo largo de esta carrera

Y por último a nosotros mismos que con gran esfuerzo abordamos esta que para nosotros es una gran historia y se ha convertido en una de las mayores experiencias de nuestras vidas, donde hemos aprendido, a siempre salir adelante

**Estraño Mario y Serrano Marval Alejandra**

## ÍNDICE

CONTENIDO	Pp
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.3 Objetivos de la Investigación.....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Justificación.....	8
1.5 Alcance.....	9
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	11
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Biomasa.....	13
2.2.2 Tipos de Biomasa.....	13
2.2.3 Proceso de Conversión de la biomasa.....	13
2.2.4 Biocombustible.....	14
2.2.5 Biocombustible Solido.....	14
2.2.6 Tipos de Biocombustible solido Leñoso.....	14
2.2.7 Materia Orgánica.....	15
2.2.8 Energía Renovable.....	15
2.2.9 Actividad Forestal.....	15
2.2.10 Temperatura.....	16
2.2.11 Termodinámica.....	16
2.2.12 Principio cero de la Termodinámica.....	16
2.2.13 Primer principio de la Termodinámica.....	16
2.2.14 Segundo principio de la Termodinámica.....	17
2.2.15 Transferencia de calor.....	17
2.2.16 Conducción.....	18
2.2.17 Convección.....	19
2.2.18 Tipos de transferencia de calor Convección.....	20
2.2.19 Radiación.....	20
2.2.20 Flujo masico.....	21

2.2.21 Poder calorífico.....	21
2.2.22 Entalpia.....	21
2.2.23 Entropía.....	22
2.2.24 Calor específico.....	22
2.2.25 Análisis energético del combustible.....	23
2.2.26 Poder calorífico del combustible .....	23
2.2.27 Tipos de poder calorífico.....	23
2.2.28 Volumen.....	23
2.2.29 La capacidad calorífica.....	24
2.2.30 Numero de Nusselt.....	24
2.2.31 Coeficiente de convección.....	25
2.2.32 Conductividad Térmica.....	25
2.2.33 Numero de Reynolds .....	25
2.2.34 Densidad.....	26
2.2.35 Viscosidad cinemática.....	26
2.2.36 Número de Prandtl .....	26
2.2.37 Relación Aire Combustible.....	27
2.2.38 Potencia eléctrica.....	27
2.2.39 Aislantes térmicos.....	27
2.2.40 Tipos de aislantes térmicos.....	28
2.2.41 Termoquímica.....	29
2.2.42 Energía Química .....	29
2.2.43 Energía Térmica .....	29
2.2.44 Energía Mecánica.....	29
2.2.45 Conversión de energía.....	29
2.2.46 Pirolisis.....	30
2.2.47 Combustión.....	30
2.2.48 Gasificación.....	30
2.2.49 Vaporización.....	31
2.2.50 Caldera.....	31
2.2.51 Tipos de caldera.....	32
2.2.52 Circuitos Eléctricos.....	34
2.2.53 Chimenea.....	34
2.3 Bases Legales.....	34

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1 Tipo de Investigación.....	39
3.2 Diseño de la Investigación.....	40
3.3 Nivel de la Investigación.....	41
3.4 Población y Muestra.....	41
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	42
3.5.1 Técnicas.....	42
3.5.2 Instrumentos.....	43

3.6 Validez y Fiabilidad.....	44
3.6.1 Validez.....	44
3.6.2 Fiabilidad.....	45
3.7 Técnica de análisis de Resultados.....	45
3.8 Fases metodológicas de la Investigación.....	45

#### **IV RESULTADOS**

4.1 Diagnostico la situación actual con respecto a la demanda energética en las distintas áreas del hospital. ....	48
4.2 Determinación la ubicación de la caldera y las Instalaciones eléctricas.....	57
4.3 Diseñar cada una de las partes de la caldera de biomasa para funcionar como generador eléctrico auxiliar.....	60
4.3.1 Diseño del ciclo de generación de potencia.....	60
4.3.2 Selección de cada uno de los elementos del ciclo....	66
4.3.2.1 Turbina.....	66
4.3.2.2 Condensador.....	68
4.3.2.3 Bomba.....	69
4.3.2.4 Generador eléctrico.....	71
4.3.2.5 Transformador eléctrico.....	72
4.3.3 Diseño conceptual según el funcionamiento de la caldera.....	73
4.3.4 Determinación de las variables de entrada a la caldera de biomasa y consideraciones.....	75
4.3.4.1 Cálculo de poder calorífico de la biomasa a utilizar	75
4.3.4.2 Características de los elementos de entrada a la caldera	75
4.3.4.3 Determinación del calor útil que debe aportar la caldera y su relación con el calor aportado por el combustible.....	76
4.3.4.4 Relación entre el calor útil que debe tener la caldera y el calor generado por el combustible.....	78
4.3.5 Determinación de la relación aire combustible y reacción química de los elementos entrantes a la caldera.....	79
4.3.5.1 Determinación del flujo de aire necesario.....	80
4.3.6 Determinación de la temperatura de trabajo de la caldera	81
4.3.7 Establecimiento de la Presión de trabajo de la caldera.	83
4.3.8 Dimensionamiento de la cámara de combustión....	84
4.3.9 Diseño de encendedor de combustible.....	85
4.3.10 Diseño de tanques de almacenamiento del combustible	89
4.3.11 Diseño de Intercambiador de calor para la caldera	91
4.3.11.1 Determinación de los diámetros de las tuberías que contienen ambos fluidos del intercambiador de calor	93
4.3.11.2 Determinando el Numero de Nusselt	95

4.3.11.3 Determinación de Coeficiente Reynolds.....	95
4.3.11.4 Determinando el Numero de Prandtl.....	96
4.3.11.5 Determinación de Coeficientes de convección o de película.....	97
4.3.11.6 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor.....	98
4.3.11.7 Determinación de la longitud.....	98
4.3.11.8 Determinación de medidas adecuadas y arreglo del serpentín.....	99
4.3.12 Diseño de recipiente a presión de la caldera .....	105
4.3.13 Selección del aislante necesario.....	108
4.3.14 Selección de chimenea .....	110
4.4 Analizar los costos de la creación de una caldera de biomasa para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia.	112
<b>CONCLUSIONES</b> .....	113
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	115
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	116
<b>APÉNDICES</b> .....	119
<b>A ENCUESTA REALIZADA A LAS PERSONAS QUE HACEN VIDA EN EL HOSPITAL CENTRAL DR. ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA</b> .....	120
<b>B VALIDACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	121
<b>C CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO UTILIZADO EN ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	127
<b>ANEXOS</b> .....	130
<b>A</b> Propiedades termodinámicas del agua Saturada.....	131
<b>B</b> Propiedades termodinámicas del vapor sobrecalentado .....	135
<b>C</b> catálogo de bombas ksb.....	138
<b>D</b> catálogo de turbina siemens sst-200.....	139
<b>E</b> catálogo bitzer condensado.....	140
<b>F</b> propiedades termodinámicas del nitrógeno.....	141
<b>G</b> propiedades termodinámicas del aire.....	142
<b>H</b> propiedades termodinámicas del dióxido de carbono.....	143
<b>I</b> propiedades termodinámicas del co <sub>2</sub> húmedo.....	143
<b>J</b> propiedades termodinámicas del vapor de agua húmedo.....	144
<b>K</b> diversos poderes caloríficos de los materiales.....	145
<b>L</b> norma asme sección ii tabla a1.....	146

<b>M</b> propiedades del material aislante.....	149
<b>N</b> costos de manufactura por cada hora.....	149
<b>O</b> resistividad y coeficientes de temperaturas para diversos materiales	155

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>Pp.</b>
<b>1</b> Resumen del consumo eléctrico estimado por áreas del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia.....	51
<b>2</b> ¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia	52
<b>3</b> ¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico?	53
<b>4</b> ¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?	54
<b>5</b> ¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área? .....	55
<b>6</b> ¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?.....	56
<b>7</b> Representación Gráfica de los elementos del ciclo Rankine en el programa	61
<b>8</b> Valores asumidos del ciclo Rankine en el programa.....	63
<b>9</b> Valores del estado Termodinámico $S_1$ .....	64
<b>10</b> Valores del estado Termodinámico $S_2$ .....	64
<b>11</b> Valores del estado Termodinámico $S_3$ .....	64
<b>12</b> Valores del estado Termodinámico $S_4$ .....	64
<b>13</b> Valores de la caldera.....	64
<b>14</b> Valores del condensador.....	65
<b>15</b> Valores de la bomba.....	65
<b>16</b> Valores de la turbina.....	65
<b>17</b> Valores de los datos Generales del ciclo.....	65
<b>18</b> Valores para la selección de la turbina.....	66
<b>19</b> Valores de la Turbina seleccionada Siemens SST-200.....	67
<b>20</b> Valores de entrada y salida del condensador.....	68
<b>21</b> Parámetros de la Bomba.....	69
<b>22</b> Bomba seleccionada.....	70
<b>23</b> Características del alternador.....	72
<b>24</b> Entalpías de entrada y salida de la caldera del ciclo Rankine	77
<b>25</b> Valores de las variables del volumen de control en la caldera	81
<b>26</b> Productos de la Combustión, valores porcentuales y sus propiedades Termodinámicas.....	82
<b>27</b> Proceso iterativo para la determinación de la temperatura de la llama adiabática de la caldera .....	83
<b>28</b> Parámetros para el volumen de la cámara de combustión.....	85
<b>29</b> Parámetros para el volumen de los tanques de combustible...	89

<b>30</b>	Consideraciones iniciales de diseño del intercambiador de calor	92
<b>31</b>	Iteración de valores para el intercambiador de calor.....	99
<b>32</b>	Parámetros para el serpentín Helicoidal.....	101
<b>33</b>	Longitud total de desarrollo del serpentín helicoidal.....	102
<b>34</b>	Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A387	106
<b>35</b>	Tabla de resultados.....	111
<b>36</b>	Estimación de costos de los materiales y procesos de fabricación de la Caldera.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pp.</b>
1 Reportaje de “Efectotocuyo.com” sobre la situación energética en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia.....	5
2 Reportaje del diario “El Impulso” sobre la situación energética en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia.....	6
3 Principales procesos de la conversión de Biomasa en energía....	14
4 Esquema de como ocurre la transferencia de calor.....	19
5 Proceso de gasificación de una planta eléctrica.....	31
6 Representación gráfica de una caldea Acuo-tubular.....	33
7 Representación gráfica de una caldera piro-tubular.....	34
8 Medición del área de adultos Hospital Enrique Tejera de Valencia	49
9 Medición del área de pediatría Hospital Enrique Tejera de Valencia	50
10 Medición del área de maternidad Hospital Enrique Tejera de Valencia	50
11 Medición del área de emergencias Hospital Enrique Tejera de Valencia	51
12 Imagen Satelital de la CHET .....	58
13 Imagen Satelital de la CHET.....	60
14 Representación del ciclo Rankine en el programa.....	61
15 Turbina Siemens SST-200.....	68
16 Condensador.....	69
17 Bomba KSB HPH.....	70
18 Alternador eléctrico seleccionado .....	72
19 Transformador eléctrico de distribución.....	73
20 Diseño conceptual de la caldera d biomasa.....	74
21 Esquema de funcionamiento de la caldera .....	75
22 Transformación de energía de los elementos de control que entran y salen de la caldera .....	76
23 Dimensiones de la cámara de Combustión.....	85
24 Esquema del circuito de los encendedores situados en la coraza de la caldera .....	88
25 Medidas del tanque de combustible.....	90
26 Tanque de combustible elaborado en inventor.....	91
27 Vista de la sección del arreglo de tuberías.....	100
28 Vista de plano del intercambiador de calor.....	101
29 Vista del serpentín del intercambiador de calor .....	103

<b>30</b> Vista del serpentín del intercambiador de calor situado en la caldera	103
<b>31</b> Vista del serpentín dentro de la caldera.....	104
<b>32</b> Simulación de la presión de trabajo del serpentín .....	104
<b>33</b> Diseño con inventor de la caldera .....	107
<b>34</b> Vista de los componentes internos de la caldera.....	108
<b>35</b> Método de las resistencias para la resistencia del aislante térmico y la resistencia del aire.....	109

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO</b>	<b>Pp.</b>
<b>1</b> ¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia?	53
<b>2</b> ¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico? ....	54
<b>3</b> ¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?	55
<b>4</b> ¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área?.....	56
<b>5</b> ¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?.....	57
<b>6</b> Diagrama T-s del ciclo Rankine.....	66
<b>7</b> Curva de operación de la bomba.....	71



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA COMO  
GENERADOR ELÉCTRICO AUXILIAR PARA EL HOSPITAL CENTRAL  
DR. ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA**

**Autores:** Estraño M.; Serrano Marval A.

**Tutor:** Ing. Alicia Yáñez de Pizzella

**Fecha:** Enero, 2022

**RESUMEN**

La presente investigación se desarrolló en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, este ente sanitario estatal se dedica a atender gratuitamente a una gran cantidad de personas. Debido a la crítica situación energética en el país, la cual se pudo comprobar de manera directa por medio de una encuesta a la muestra tomada de la población existente, se plantea la necesidad de diseñar una caldera de Biomasa para que funcione como generador eléctrico auxiliar en este ente sanitario. El tipo de investigación es factible, además es de campo, documental y descriptiva; en donde se aplicó la entrevista no estructurada, una encuesta ya mencionada, mediante un cuestionario con apoyo de una observación estructurada. Se tiene como conclusión que la caldera puede funcionar por cuatro horas continuas con uso de “pellets” de madera como combustible biomásico; se tomaron consideraciones de ingeniería mecánica para desarrollar el diseño de un ciclo de generación de potencia y cada una de las partes de la caldera, donde el análisis de energía, la resistencia de materiales, la termodinámica y la dinámica de fluidos son protagonistas en los capítulos del diseño de las partes de la caldera de biomasa. También se siguieron los patrones y normas establecidos por varios entes de gran importancia en el mundo para asegurarse que el diseño fuera realizado bajo los lineamientos deseados en cuanto a los estándares utilizados en el diseño de las calderas industriales brindando una alternativa que compite con calderas del mismo rango y posee la factibilidad de que su impacto es menor al medio ambiente, en comparación a las calderas que usan combustibles fósiles para generar energía en ciclos de generación de potencia. El presente trabajo de investigación se enmarcó en la línea de investigación: Gestión ambiental, habitad y vivienda

Descriptor: Biomasa, Energía alternativa, Hospital Central, Generador eléctrico

## INTRODUCCIÓN

La energía es un bien de la actualidad del cual se depende mucho, tanto así, que es imposible hoy en día realizar cosas sin depender de servicios eléctricos que muchas veces llegan a los sitios donde se ejerce tareas cotidianas o trabajos y el cual no se toma en cuenta el ciclo energético y la conversión de potencia necesaria, para poder llevar la energía a estos sitios donde es tan necesitada.

La energía es un bien que es considerado público en este país porque su existencia y/o aprovechamiento tiene un beneficio para la totalidad de la Nación.

El presente trabajo de grado está enfocado en la generación de potencia a través de energías alternativas, cuyo propósito consiste en una propuesta de diseño de una caldera de biomasa como generador eléctrico auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, considerado un proyecto factible en pro de buscar soluciones a los recurrentes cortes eléctricos y motivado a tener empatía con las personas que necesitan de los recursos energéticos para poder sustentar su vida y su estado de salud.

Observando la situación desde varios puntos de vista se puede decir que el beneficio es grande, ya que es una herramienta útil en estos tiempos donde se afronta, los diversos temas energéticos. La caldera de la que se habla en los siguientes capítulos, tiene que cumplir con los estándares del Hospital, a su vez trabaja con energía limpia; la demanda de cobertura de la caldera abarca la estructura que consta de cuatro pisos, los cuales se dividen en las diferentes especialidades de medicina interna y cirugía, así como un área de emergencia de adulto, sin contar sus inmediaciones donde se encuentra la maternidad, el Hospital pediátrico, el departamento universitario, y otras secciones.

Si bien en términos energéticos un Hospital promedio que cumpla todas sus funciones como el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, consume alrededor de 6 mil GWH lo que implica un consumo del 2% sobre el total del país. En los Hospitales se consume energía durante todos los días del año, 8760 horas de uso

continuo. Cuando ocurren los cortes eléctricos y debe recurrirse a los generadores eléctricos que funcionan con gasoil o gasolina, en este trabajo se busca, inhibir dichos funcionamientos de generadores que propician el incremento de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, para asimismo también generar un nuevo tiempo como los que se reflejan en otros países donde se produce energía de manera más limpia, frenando de esa manera el calentamiento global y contribuyendo a la recuperación del planeta de sus efectos perjudiciales para el medio ambiente.

Por ende, surge esta propuesta de la creación de una caldera de biomasa para ayudar al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, a que no le falte energía eléctrica en ningún momento debido a la crisis energética existente en el país, además, de suministrar una energía más limpia y menos contaminante.

Así mismo, este proyecto de investigación está dividido en cuatro capítulos, los cuales se desglosan de la siguiente manera: **Capítulo I**, en el cual se habla de la problemática en la cual se basa este proyecto, definido por el planteamiento del problema junto con la formulación del problema, donde se trata de dar una respuesta a esta problemática; también cuenta de unos objetivos tanto general como específicos, estos serán las metas que se intenta lograr alcanzar; además esta la justificación de toda esta propuesta; asimismo, se aprecia los alcances y limitaciones que tiene esta propuesta.

Por su parte, en el **Capítulo II**, se encuentra toda la base teórica en la cual se afianza este proyecto, donde se conoce los antecedentes, bases teóricas, bases legales en los cuales se consolida el proyecto, además, se aprecia los significados de la terminología utilizada.

En el **Capítulo III**, está presente todo lo relacionado a la parte metodológica de Proyecto de Investigación que se está desarrollando, se da a conocer qué tipo, cuál es el diseño y el nivel de la investigación; del mismo modo, se conoce la población y muestra que se utiliza para poder obtener datos importantes de la problemática en este

ente sanitario; para poder obtener estos datos, se hace uso de unas técnicas e instrumentos para recolectar estos datos, a su vez, se hace uso de unas técnicas de análisis de estos datos recolectados, además, de validar y dar confiabilidad de todos los datos obtenidos.

Por último, en el **Capítulo IV**, se observa los resultados de este Proyecto de Investigación; donde se está desarrollando cada uno de los objetivos específicos de esta investigación; también, se puede apreciar el análisis de uno de los instrumentos de recolección de datos aplicados, también se aprecia la simulación en “Inventor” de la caldera para así poder entender su funcionamiento y lograr encontrar la solución a la problemática planteada en un comienzo; así como también, se podrá conocer la conclusión de este proyecto de investigación y las recomendaciones para que este se lleva a cabo o para futuros investigadores los cuales deseen realizar un proyecto similar

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

Las labores desempeñadas en un hospital son de suma importancia en la vida de aquellos a los que acuden al Hospital y también para todas aquellas personas que trabajan en el Hospital; es por eso que se puede decir que, es importante que un Hospital funcione en óptimas condiciones para garantizar que todas las personas sean atendidas de manera eficiente y con la mayor dedicación posible; en este ambiente tan convulsionado donde la vida de los pacientes puede llegar a estar en manos de alguien como un médico, que en su justo momento de labor cualquier acción que tome puede ser influenciada o afectada por cualquier ámbito externo o cualquier fluctuación de valores normales que necesiten en los servicios pertinentes del recinto para realizar las labores en el hospital y a su vez dicha acción afectada repercutirá en la vida del paciente en juego en dicha labor médica, es por eso que el margen de error debe mantenerse al mínimo ya que se está tratando con vidas humana.

Una vez dicho esto, se puede decir que, las fluctuaciones en el servicio de energía eléctrica del país están siempre presentes y aun siendo otro país, instituciones tan importantes como los hospitales deberían tener generadores de energía eléctrica que puedan sustentar la demanda de energía del mismo o en su defecto cubrir un margen de tiempo que sea el aproximado a lo que pueda durar una falla eléctrica ocasionada por desastres naturales o por la ya mencionada red de energía nacional.

En este sentido, se trata la problemática en la ciudad Hospitalaria Dr. Enrique Tejera, ubicado en Valencia, estado Carabobo, donde los problemas debido a fallas de luz, afectan el día a día en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia. Según el diario “El Impulso” (29 de abril de 2018) médicos trabajadores del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia informaron sobre las constantes fallas eléctricas en el

Hospital. Así mismo, el 19 de marzo, “Efectocucuyo.com” reportó que: El área terapia intensiva pediátrica llevaba 2 semanas sin servicio eléctrico, debido a una falla eléctrica en un transformador eléctrico que surte al Hospital, además también señaló la falla de la planta eléctrica que suministra energía eléctrica en casos de fallas eléctricas al Hospital, por lo cual tenían dos semanas sin energía eléctrica en esta área.



La **Ciudad Hospitalaria Dr. Enrique Tejera** (Chet), ubicada en Valencia, estado Carabobo, suma dos semanas sin **terapia intensiva pediátrica**. Un daño en la **planta eléctrica** de la unidad provocó «una mudanza» del servicio. Para este lunes 19 de marzo, los doctores y los pacientes del servicio se encuentran «arrimados» en el área de Hidratación.

**Figura 1.** Reportaje de “Efectocucuyo.com” sobre la situación energética en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Fuente: <http://efectocucuyo.com/salud/terapia-intensiva-pediatrica-del-hospital-central-de-valencia-tiene-dos-semanas-cerrada/>

## VIDEO Médicos del Hospital Central de Valencia se quedaron sin luz en plena operación

Por **El Impulso** - 29 abril, 2018



Los médicos del hospital Central de Valencia informaron que por las constantes fallas en la planta eléctrica de la Ciudad Hospitalaria Doctor Enrique Tejera el quirófano se quedó sin luz en plena operación mientras intervenían a un herido bala este domingo 29 de abril.

### **Figura 2.** Reportaje del diario “El Impulso” sobre la situación energética en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Fuente: <https://www.elimpulso.com/2018/04/29/video-medicos-del-hospital-central-de-valencia-se-quedaron-sin-luz-en-plena-operacion/>

Esta situación nacional ha llevado a la búsqueda de nuevos medios de generación de energía que puedan ayudar en todas las escalas que la sociedad necesita, para sustentar el vacío que dejan los cortes de luz en las actividades diarias y en todas aquellas áreas que dependen completamente de la electricidad, esto hace que se coloque la mirada en dispositivos que sean generadores de energía auxiliar que puedan sustentar ese vacío ya mencionado para poder con las labores necesarias y asegurar las óptimas condiciones de los centros de atención médica; pero para ello hay que considerar

factores importantes como el calentamiento global producto de la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo que lleva a seleccionar a solo un grupo de máquinas generadoras de energía que luego de procesar el combustible en su ciclo establecido tenga una repercusión mínima o aproximadamente nula en el medio ambiente

Conjunto al medio a utilizarse se ha considerado aprovechar la oportunidad de generar energía por medio de desechos orgánicos, para poder así solucionar el problema que deja las fluctuaciones en el servicio eléctrico, dichas fluctuaciones tienen repercusiones en todos los ámbitos en el país desde que comenzaron a ser más acentuadas, se pudo observar el daño ocasionado en todos los ámbitos y áreas, el daño en hospitales y las personas involucradas también ha sido registrado desde que se hicieron presente los apagones, este es un problema que necesita mejorar

Se puede decir que las máquinas que generan potencia necesitan dos cosas importantes, combustible y el proceso que transforme el combustible en energía aprovechable; el primero de los casos ya descrito puede obtenerse tratando los desechos para generar una biomasa que será el combustible que se necesita para generar energía eléctrica para así poder satisfacer las necesidades eléctricas en este ente, cabe destacar, que estos desechos serán de origen forestal, o también llamados desechos secos, ya que son los más viables para generar electricidad que es lo que se necesita en este caso; y el segundo de los casos sería la creación de la caldera y de toda la red eléctrica, que serán los encargados de transformar los desechos en energía eléctrica y a su vez llevar esta energía al hospital.

## **1.2 Formulación del problema.**

¿Cómo se puede ayudar al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia para que no le falte energía eléctrica debido al problema energético actual del país?

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

#### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer el diseño de una caldera de biomasa para funcionar como generador eléctrico auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- \* Diagnosticar la situación actual con respecto a la demanda energética en las distintas áreas del hospital.
- \* Determinar la ubicación de la caldera y las instalaciones eléctricas
- \* Diseñar cada una de las partes de la caldera de biomasa para funcionar como generador eléctrico auxiliar
- \* Analizar los costos de la creación de una caldera de biomasa para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

#### **1.4. Justificación de la Investigación.**

La ya mencionada deficiencia de la red eléctrica, cuyas fluctuaciones en el servicio y cortes inesperados han provocado un sinnúmero de problemas, lo cual es causa directa o justificativo, para poder optar por algún método de generación de potencia que pueda surtir de manera autónoma instituciones de suma importancia como lo son los hospitales, a causa de las experiencias en el país con la deficiencia eléctrica se sabe que los cortes de electricidad pueden ser definidos en escala de tiempo, pueden ser a corto, mediano y largo plazo.

Llámesse corto plazo a un periodo de tiempo sin electricidad que cuya duración puede variar desde un minuto a 15 minutos, mediano a un periodo de tiempo sin electricidad que cuya duración puede variar desde 30 minutos a cuatro horas de plazo, largo plazo a un periodo de tiempo sin electricidad que cuya duración puede variar desde 12 horas a varios días, se puede observar que el problema eléctrico en el país ha proliferado de tal manera que encontrándose con muchas situaciones y entre largos y cortos periodos de tiempo sin electricidad en las que la mayoría de la personas no

poseen información del tiempo estimado de la falla y algunos temen por que dure varios días como ya ha sucedido, es por esta razón que se considera la de mayor peso, la justificación del porqué realizar un análisis de la factibilidad de incorporar un mecanismo auxiliar de energía eléctrica que use energía renovable para el Hospital Central Enrique Tejera de Valencia

Aun también se puede mencionar que, por un momento se quiere usar generadores eléctricos convencionales cuyo combustible puede ser Diesel o gasolina, es de notarse que, en la situación actual por la cual pasa el país, existe una cantidad limitada de dichos combustibles, lo que hace de ardua labor su obtención, a esto debemos añadirle que los generadores eléctricos que usan dicho combustible cumplen su función, pero generan un daño al equilibrio medio ambiental, por la cantidad de dióxido de carbono que expulsan a la atmosfera, por el cual no es recomendable en algunos países usarlos, de hecho hay leyes para la regulación del CO<sub>2</sub> y la intención con este proyecto de investigación es poder, tener un tipo de energía que sea participe en la conservación del medio ambiente, a su vez generar un cambio y concientización sobre las energías renovables.

Además, se debe agregar que este tipo de energía es una de las energías renovables más económicas que otras, ya que la mayoría de las energías renovables son muy costosas de llevar a cabo, de mantener y otras considerando el caso en donde se quiere desarrollar es prácticamente imposible de aplicarse en la propuesta planteada

### **1.5. Alcance**

Con esta propuesta se quiere lograr ayudar al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, a poder seguir realizando sus actividades diarias sin tener que parar sus labores por los cortes de energía eléctrica, debido a la crisis energética existente en el país; asimismo se desea ahorrar los costos del combustible, cabe destacar que, el diseño llega hasta la caldera, ya que no se podrá diseñar el generador y transformador eléctrico debido al factor tiempo para realizar este trabajo de investigación

## **1.6. Limitaciones**

Se debe tomar en cuenta una serie de restricciones al momento de tratar de llevar a cabo esta propuesta; entre las más resaltantes tenemos el costo de la realización, ya que no se tiene los recursos económicos para la realización de la caldera e instalaciones eléctricas. Lo cual lleva a solo realizar el planteamiento del diseño de la caldera.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Flores G. Blanca M y Tovar Luis A. (2010) egresados de la Universidad de Carabobo en su estudio titulado **“Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa biodigestor”** para optar al grado de Ingeniero Electricista, el problema observado fue: En Venezuela se han venido desarrollando unas series de proyectos de generación de potencia basados en energía eólica y energía solar, en lugares remotamente alejados donde no se cuenta con un suministro eficiente de energía eléctrica y los mismos cuentan con un gran potencial para la implementación de este tipo de energía.

Pero existe otro tipo de energía alternativa, con la que Venezuela cuenta con un gran potencial y la cual hasta ahora no sido aprovechada, y es la aplicación de la energía de la biomasa para la obtención de energía eléctrica de forma indirecta, donde la metodología empleada se basó en un análisis detallado de los desechos agropecuarios, considerados como material de carga para la producción de biogás; en este punto se estudian las características que definen la biomasa y la cantidad de biogás producido a partir de tales desechos, para posteriormente evaluar los diferentes tipos de biodigestores existentes en el mercado, el aporte de este trabajo de grado a esta investigación reside en la correcta utilización del criterio, clasificación, distinción de los diferentes tipos de biomasa como combustible y su efectividad para la generación de potencia.

Así mismo, Anaya O, Alfonso R. (2010), egresados de la Universidad Central de Venezuela, en su estudio titulado **“Evaluación y puesta en funcionamiento de una caldera marca continental, pirotubular, horizontal, dos pasos, para producción**

**de vapor saturado a 30 psi”** para optar por el grado de Ingeniero Químico, el problema observado fue evaluar y poner en funcionamiento la caldera pirotubular de 150 Bohn de capacidad, con la finalidad de reincorporar al cronograma las prácticas que se habían dejado de realizar por la falta de vapor saturado, se usaron diferentes combustibles entre ellos la biomasa

La metodología utilizada fue el análisis directo donde se pudieron realizar mediciones en torno a las variables, que se procedieron a recolectar como información que se usó para ser comparada con el marco teórico del diseño de la caldera para poder generar criterios el cual se concluye como textualmente lo describe el autor.

En resumen, pues, las plantas de generación de biomasa que instalen calderas con gasógenos son más eficientes que aquellas que utilizan sistemas de combustión de biomasa pulverizada, el aporte a este proyecto de investigación es la comparación de la preparación de biomasa para su máximo provecho en su fase de combustible, ya que se requiere para este proyecto generar la mejor eficiencia.

Por último, Claudio Daniel Mínguez Gómez (2012), egresado de la Universidad Complutense de Madrid en su estudio titulado **“La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética”** para optar por el grado de Ingeniero, el propósito de esta investigación es estudiar y analizar el comportamiento durante un período prolongado de la operación de la planta de biomasa que se tiene disponible, ver cuáles son los problemas que se presentan, proponer soluciones y analizar los resultados que se obtengan

La metodología utilizada, como ya mencionado es el análisis directo en el cual las medidas y datos son recolectados en el sitio en el cual está destinado el análisis, ya mencionado antes se observó durante un tiempo determinado permitiendo la recolección de información en muestras que ayudan al autor a interpretar los fenómenos involucrados, el aporte a este trabajo de investigación se debe a su criterio de energía renovable en el cual se puede leer en el trabajo.

Es importante destacar también el aspecto ambiental de la biomasa, su aprovechamiento energético no contribuye a aumentar el efecto invernadero ya que el balance de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera es neutro. En efecto, el dióxido de carbono generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por tanto, no incrementa la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1. Biomasa**

Se entiende como biomasa toda la materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía. El origen de la energía de la biomasa puede ser tanto animal como vegetal y puede haber sido obtenida de manera natural o proceder de transformaciones artificiales que se realizan en las centrales de biomasa. Esta materia se convierte en energía al aplicarle distintos procesos químicos.

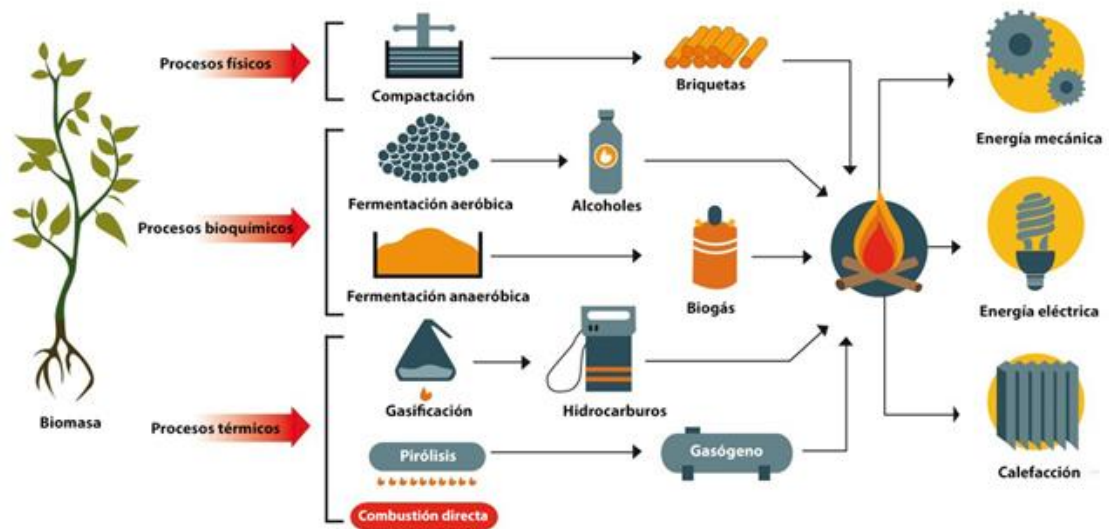
### **2.2.2. Tipos de Biomasa**

- **Biomasa natural.** Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- **Biomasa residual.** Son los residuos orgánicos que provienen de las actividades de las personas (residuos sólidos urbanos (RSU) por ejemplo).
- **Biomasa producida.** Son los cultivos energéticos, es decir, campos de cultivo donde se produce un tipo de especie concreto con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

### **2.2.3. Proceso de conversión de la biomasa**

Los métodos de conversión de la biomasa en energía pueden ser métodos termoquímicos como la combustión directa, la pirólisis y la gasificación o métodos

biológicos como la fermentación alcohólica y la fermentación metánica. (ver figura 3)



**Figura 3.** Principales procesos de conversión de la biomasa en energía

Fuente: IES. “Cristóbal de Monroy”, Dpto. de Tecnología

#### 2.2.4. Biocombustible

Un biocarburante o biocombustible es una mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Deriva de la biomasa, materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

#### 2.2.5. Biocombustible Solido

La cantidad de los biocombustibles solidos está determinada principalmente por su contenido de humedad, cenizas, impurezas y tamaño. La variabilidad de dichos factores define la calidad del combustible, el tipo de equipos, costos de inversión y operación asociados y en definitiva el costo de la energía generada

#### 2.2.6. Tipos de biocombustible solido leñoso

- **Biomasa Triturada:** Corresponde principalmente a residuos de cosecha y manejo de bosques, los que se colectan en la superficie intervenida y se Trituran

mediante molinos de martillo. Debido a su origen presentan un contenido de cenizas e impurezas, tales como tierra, arena y piedras.

- **Astillas:** Son pequeñas partículas de madera que se obtienen del procesamiento de troncos descortezados, de bajas dimensiones y de residuos de la industria maderera. A diferencia del triturado, el astillado se realiza mediante herramientas de corte montadas en discos o tambores que giran a gran velocidad dando como resultado partículas de madera homogéneas. Como se producen a partir de madera virgen y limpia sus contenidos de cenizas y otras impurezas son más bajos que los de biomasa triturada
- **Pellets:** Son cilindros conformados por partículas finas de madera comprimida, se producen a partir de la transformación de aserrín y virutas. Dadas sus características homogéneas en cuanto a tamaño forma y densidad se comportan como un fluido, facilitando su utilización, de tal manera que son el biocombustible sólido de mayor calidad. A diferencia de la biomasa triturada y astillas, los pellets no pueden ser almacenados a la intemperie, ya que la humedad los destruye.

### **2.2.7. Materia Orgánica**

La materia orgánica, es materia elaborada de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural.

### **2.2.8. Energía Renovable**

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene a partir de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales

### **2.2.9. Actividad Forestal**

Es la actividad que realiza el hombre para aprovechar los distintos productos de los bosques y de las selvas. La actividad forestal constituye un aspecto básico de la economía.

### **2.2.10. Temperatura**

La temperatura es una magnitud escalar que sistematiza la noción vulgar de frío y caliente haciéndola medible mediante un termómetro. La temperatura está relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional o en forma de vibraciones, la llamada agitación térmica. A mayor agitación térmica el sistema se encuentra más caliente, su temperatura es mayor.

### **2.2.11. Termodinámica**

La termodinámica trata los procesos de transferencia de calor, que es una de las formas de energía y cómo se puede realizar un trabajo con ella. En esta área se describe cómo la materia en cualquiera de sus fases (sólido, líquido, gaseoso) va transformándose. Desde un punto de vista macroscópico de la materia, se estudia cómo esta reacciona a cambios en su volumen, presión y temperatura, entre otras magnitudes.

### **2.2.12. Principio cero de la Termodinámica**

El principio dice que, si se pone un objeto con cierta temperatura en contacto con otro a una temperatura distinta, ambos intercambian calor hasta que sus temperaturas se igualan. El principio establece que para todo sistema existe una propiedad denominada temperatura empírica, que es común para todos los estados de equilibrio termodinámico que se encuentren en equilibrio mutuo con uno dado.

### **2.2.13. Primer Principio de la Termodinámica**

El primer principio de la termodinámica, es un principio que refleja la conservación de la energía en el contexto de la termodinámica y establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien este intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, este principio permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. En palabras simples: la energía total del universo se mantiene constante. No se crea ni se destruye, solo se transforma.

$$\Delta U = Q - W \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

Q: Calor

W: Trabajo

#### **2.2.14. Segundo Principio de la Termodinámica**

Este principio marca la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario. El sentido de evolución de los procesos reales es único ya que son irreversibles

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

dS: Diferencial de la Entropía

dQ: Transferencia de calor

T: Temperatura

#### **2.2.15. Transferencia de Calor**

La transferencia de calor es el proceso físico de propagación del calor en distintos medios. La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico en un sistema o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos cercanos o regiones lo suficientemente próximas se transfiere calor más rápido

#### **2.2.16. Conducción**

La conducción de calor o transferencia de energía en forma de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, porque el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. Para el caso simplificado de flujo de calor estacionario en una sola dirección, el calor transmitido es proporcional al área perpendicular al flujo de calor, a la conductividad del material y a la diferencia de temperatura, y es inversamente proporcional al espesor (ver figura 4)

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{KA}{x} (T_1 - T_2) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

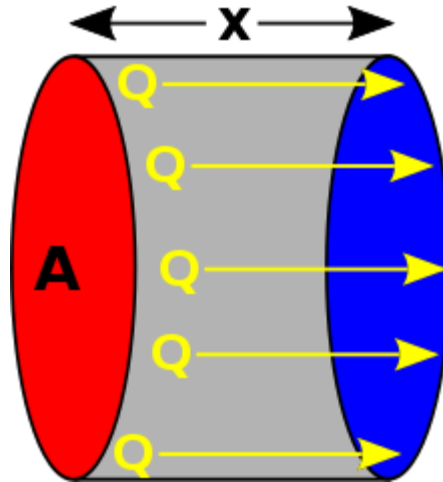
$\frac{Q}{\Delta t}$ : Calor Transmitido por unidad de tiempo

K: Conducción térmica

A: Área de la superficie de contacto

x: Espesor del material

$(T_1 - T_2)$ : Diferencia de Temperatura entre el foco caliente y frío



**Figura 4.** Esquema de como ocurre la transferencia de calor  
Fuente: Wikipedia

### 2.2.17. Convección

La transferencia de calor por convección, a menudo denominada simplemente convección, es la transferencia de calor de un lugar a otro por el movimiento de fluidos. La convección suele ser la forma dominante de transferencia de calor en líquidos y gases. la transferencia de calor por convección involucra los procesos combinados de conducción (difusión de calor) y advección (transferencia de calor por flujo de fluido a granel).

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{inf}) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$h$ : Coeficiente de Convección

$A_s$ : Área del Cuerpo en contacto con el fluido

$T_s$ : Temperatura en la superficie del cuerpo

$T_{inf}$ : Temperatura del fluido lejos del cuerpo

### 2.2.18. Tipos de transferencia de calor por convección

**Convección Natural:** Cuando el movimiento del fluido es causado por fuerzas de flotabilidad que resultan de las variaciones de densidad debidas a variaciones de temperatura térmica en el fluido. En ausencia de una fuente interna, cuando el fluido está en contacto con una superficie caliente, sus moléculas se separan y se dispersan, lo que hace que el fluido sea menos denso. Como consecuencia, el fluido se desplaza mientras que el fluido más frío se vuelve más denso y el fluido se hunde. Por lo tanto, el volumen más caliente transfiere calor hacia el volumen más frío de ese fluido

**Convección forzada:** Cuando un fluido es forzado a fluir sobre la superficie por una fuente interna como ventiladores, mediante agitación y bombas, creando una corriente de convección inducida artificialmente.

### 2.2.19. Radiación

La energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. La radiación electromagnética que se considera aquí es la radiación térmica. La cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Un radiador perfecto o cuerpo negro emite una cantidad de energía radiante de su superficie por unidad de tiempo  $q_r$  dada por la ecuación 5

$$q_r = \sigma AT^4 \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann

$$\sigma = 5.6710^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$$

$q_r$ : Transferencia de calor por radiación

A: Área de cuerpo

T: Temperatura de cuerpo

### **2.2.20. Flujo másico**

Flujo másico o caudal másico es la magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. En el Sistema Internacional se mide en unidades de kilogramos por segundo, mientras que en el sistema anglosajón se mide en libras por segundo. Se usa frecuentemente en sistemas termodinámicos como tuberías, toberas, turbinas, compresores o difusores.

$$d\dot{m} = \rho(r)dV = \rho Q \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$\rho(r)$ : Densidad en función de la posición

Q: Caudal Volumétrico

dV: Diferencial de Volumen

### **2.2.21. Poder Calorífico**

El poder calorífico es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. El poder calorífico expresa la energía que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión

### **2.2.22. Entalpia**

Es una magnitud termodinámica, simbolizada con la letra H mayúscula, definida como «el flujo de energía térmica en los procesos químicos efectuados a presión

constante cuando el único trabajo es de presión-volumen», es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

$$U = h[S V (N_i)] \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

U: Entalpia

S: Entropía

V: Volumen

$N_i$ : Composición química del Sistema

### 2.2.23. Entropía

Magnitud termodinámica que mide la parte de la energía no utilizable para realizar trabajo y que se expresa como el cociente entre el calor cedido por un cuerpo y su temperatura absoluta

$$S_2 - S_1 = \frac{Q_{12}}{T} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

$Q_{12}$ : Cantidad de calor intercambiado entre el sistema y el entorno

T: Temperatura

### 2.2.24. Calor Especifico

Es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad

$$c = \frac{C}{m} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

C: Capacidad Calorífica

m: Masa

### **2.2.25. Análisis Energético del Combustible**

El análisis energético es el primer paso para promover la eficiencia energética. Es el proceso que realiza un diagnóstico de la situación inicial, identificando los diferentes elementos que son responsables del consumo energético y su importancia relativa en el conjunto

### **2.2.26. Poder Calorífico del Combustible**

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

### **2.2.27. Tipos de Poder Calorífico**

**Poder Calorífico Superior:** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y, por consiguiente, se tiene en cuenta el calor desprendido en este cambio de fase.

**Poder Calorífico Inferior:** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor

### **2.2.28. Volumen**

El volumen es una magnitud métrica de tipo escalar definida como la extensión en tres dimensiones de una región del espacio. Es una magnitud derivada de la longitud,

ya que en un ortoedro se halla multiplicando tres longitudes: el largo, el ancho y la altura.

### **2.2.29. La Capacidad Calorífica**

La capacidad calorífica o capacidad térmica de un cuerpo es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = c m \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

Q: Calor absorbido por el Sistema

$\Delta T$ : Variación de Temperatura

c: Calor Especifico

m: Masa

### **2.2.30. Número de Nusselt**

El número de Nusselt (Nu) es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción

$$N_u = \frac{hL}{K} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

h: Coeficiente de Transferencia de Calor por convección

L: Longitud

k: Conductividad Térmica

### 2.2.31. Coeficiente de Convección

El coeficiente de película, coeficiente de convección o coeficiente de transmisión superficial, representado habitualmente como  $h$ , cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, de la superficie y del flujo cuando se produce transferencia de calor por convección.

$$\dot{Q} = h A (T_s - T_\infty) \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

$h$ : Coeficiente de Calor por convección

$A$ : Área

$T_s$ : Temperatura superficial

$T_\infty$ : Temperatura del fluido a cierta distancia del cuerpo

### 2.2.32. Conductividad Térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor

$$K = \frac{\dot{q}}{|\nabla T|} \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

$\dot{q}$ : Flujo de calor

$|\nabla T|$ : Gradiente de Temperatura

### 2.2.33. Número de Reynolds

El número de Reynolds ( $Re$ ) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Su valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento.

### 2.2.34. Densidad

Es la relación entre el peso (masa) de una sustancia y el volumen que ocupa (esa misma sustancia).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. (14)}$$

Donde:

m: Masa

v: Volumen

### 2.2.35. Viscosidad Cinemática

Se mide el tiempo para un volumen fijo de líquido que fluye, bajo la acción de la gravedad, a través del capilar del viscosímetro calibrado, a una temperatura conocida y exactamente controlada. La viscosidad cinemática es el producto de medir el tiempo de flujo por la constante del viscosímetro.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

$\mu$ : Viscosidad cinemática

$\rho$ : Densidad

### 2.2.36. Número de Prandtl

El número de Prandtl es un número adimensional proporcional al cociente entre la velocidad de difusión de la cantidad de momento y la difusividad térmica.

$$P_r = \frac{v}{\alpha} \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

v: Difusividad del momento

$\alpha$ : Difusividad térmica

### **2.2.37. Relación Aire-Combustible**

Es la relación entre la masa de aire y la de un combustible sólido, líquido o gaseoso presente en un proceso de combustión. La combustión puede ocurrir de manera controlada, como en un motor de combustión interna o un horno industrial, o puede provocar una explosión. En un motor de combustión interna o un horno industrial, la relación es una medida importante por razones de anticontaminación y ajuste del rendimiento. Si se proporciona exactamente suficiente aire para quemar por completo todo el combustible, la relación se conoce como mezcla estequiométrica.

Las proporciones inferiores a la estequiométrica se consideran mezclas ricas. Las mezclas ricas son menos eficientes, pero pueden producir más energía y quemarse a temperaturas más bajas. Las proporciones superiores a la estequiométrica se consideran pobres. Las mezclas pobres son más eficientes, pero generalmente alcanzan temperaturas más altas, lo que puede conducir a la formación de óxidos de nitrógeno.

### **2.2.38. Potencia Eléctrica**

Es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.

### **2.2.39. Aislantes Térmicos**

Es un material usado en la industria, caracterizado por su alta resistencia térmica. La acción y efecto de su aplicación se conoce como aislamiento térmico, ya que establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que el calor traspase los separadores del sistema que interesa con el ambiente que lo rodea.

#### 2.2.40. Tipos de Aislantes Térmicos

- **Aluminio:** Los aislantes de aluminio consisten en varias capas delgadas unidas por otras láminas plegadas formando algo parecido al cartón aligerado. Las pérdidas térmicas pueden ser por cambio de estado, por contacto, o convección o por radiación, logrando el aluminio reflejar, y así reducir, en un 97 % las pérdidas por radiación térmica, tanto para enfriar protegiendo del sol, como ante el frío, para conservar el calor interior, siendo esta propiedad independiente del espesor de la capa de aluminio. Además, el aluminio ofrece otra ventaja, al ser totalmente estanco/impermeable, e impedir el paso de agua y aire, bloqueando así las pérdidas por evaporación. El plegado de las láminas se encarga de limitar la convección.

- **Fibra de Vidrio:** La fibra de vidrio es uno de los materiales que se utilizan con mayor frecuencia en los proyectos de aislamiento acústico o térmico. Está compuesta por arena de sílice, carbonato de sodio y caliza. A través de un proceso de calentamiento en el que estos materiales llegan a alcanzar los 1500 grados centígrados, surgen los miles de filamentos que, una vez entrelazados, forman la fibra de vidrio.

- **El Silicato de Calcio:** El silicato de calcio es un aislamiento térmico usado en aplicaciones comerciales e industriales, por sus cualidades es requerido cuando se necesite resistencia a la compresión y al abuso mecánico y/o la incombustibilidad, además por su baja conductividad térmica, el silicato de calcio es ideal para aislar equipos y/o tuberías que generan altas temperaturas.

Otras cualidades que posee es que sus partículas son pesadas y evita la volatilidad o dispersión por el aire siendo este óptimo para estándares donde se necesite alta higiene.

El silicato de calcio satisface las necesidades de ahorro directo en el consumo de energía, reduce los costos de producción a corto plazo requeridos para el control de la temperatura y reducción de contaminantes que operan a media y alta emisión calóric

#### **2.2.41. Termoquímica**

La termoquímica, consiste en el estudio de las transformaciones que sufre la energía calorífica en las reacciones químicas, surgiendo como una aplicación de la termodinámica en la química.

#### **2.2.42. Energía Química**

La energía química es la forma de energía que se almacena en forma de compuesto químico en un portador de energía y puede liberarse durante las reacciones químicas. La energía química describe macroscópicamente la energía que está asociada con las fuerzas eléctricas en átomos y moléculas y que tiene un efecto en las reacciones químicas.

#### **2.2.43. Energía Térmica**

La energía térmica o la energía calorífica es la parte de la energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que se proporciona a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos.

#### **2.2.44. Energía Mecánica**

La energía mecánica de un cuerpo o de un sistema físico es la suma de su energía cinética y la energía potencial. Se trata de una magnitud escalar relacionada con el movimiento de los cuerpos y con las fuerzas de origen mecánico. La energía mecánica asociada al movimiento de un cuerpo es la energía cinética, que depende de su masa y de su velocidad

#### **2.2.45. Conversión de Energía**

La conversión de potencia energía, es el proceso de convertir la energía de una forma a otra. En un nivel general, esto podría incluir los procesos electromecánicos o electroquímicos. Sin embargo, en ingeniería eléctrica, la conversión de energía tiene un significado más específico, que es la conversión de una forma de energía eléctrica a otra. Los sistemas de conversión de energía, denominados

convertidores de potencia, a menudo incorporan la regulación de tensión, que es el control de su valor dentro de ciertos límites.

#### **2.2.46. Pirolisis**

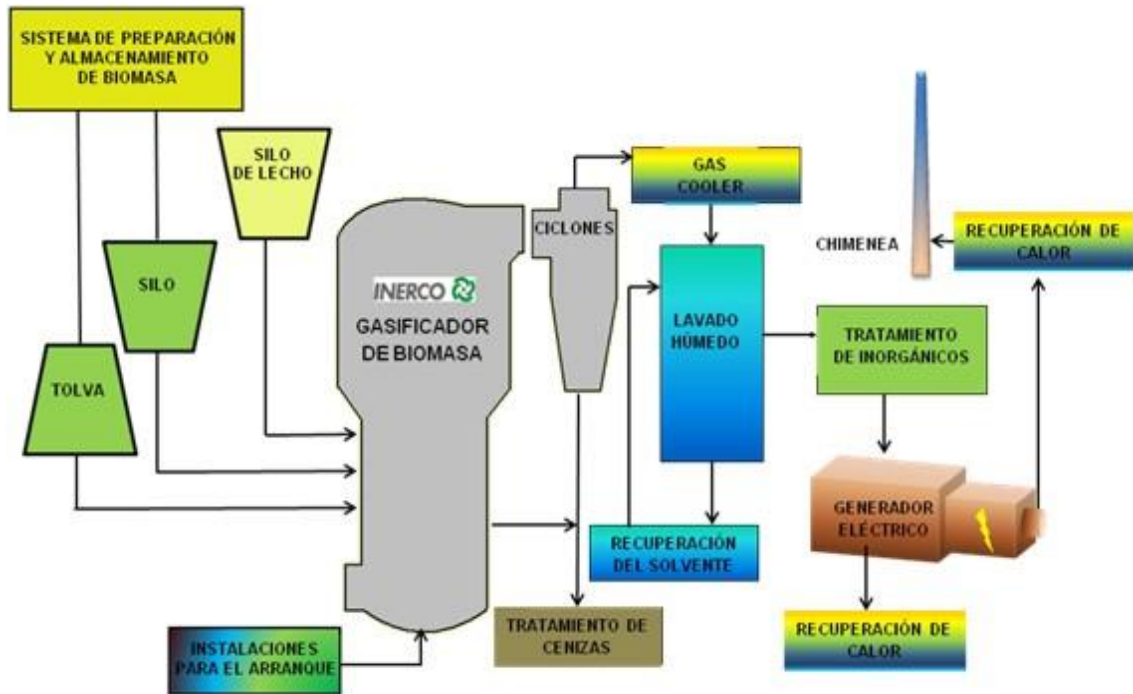
La pirólisis es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. Involucra cambios simultáneos de composición química y estado físico, los cuales son irreversibles

#### **2.2.47. Combustión**

La combustión, en sentido amplio, puede entenderse como toda reacción química, relativamente rápida, de carácter notablemente exotérmico, que se desarrolla en fase gaseosa o heterogénea con o sin manifestación de llamas o de radiaciones visibles.

#### **2.2.48. Gasificación**

Es un proceso de combustión incompleta de la biomasa, efectuado a altas temperaturas (700-1200°C), aunque en general, inferiores a las de combustión. Como producto principal se obtiene un gas combustible compuesto por hidrógeno, metano y monóxido de carbono. El poder calorífico de este gas, se sitúa en torno a los 4 MJ/Nm<sup>3</sup>. La gasificación es una alternativa con mejores rendimientos que la combustión en calderas. El empleo de motores diésel o de turbinas de gas para quemar el gas producido puede elevar el rendimiento a valores por encima del 30%, sin embargo, ésta es una opción poco extendida (ver figura 5)



**Figura 5.** Proceso de gasificación de una planta eléctrica  
Fuente: INERCO

### 2.2.49. Vaporización

La vaporización, por lo tanto, es el cambio de estado de un líquido a un gas. Este proceso puede llevarse a cabo de dos maneras: cuando el paso de líquido a gaseoso se desarrolla en la totalidad de la masa de la sustancia, se habla de ebullición. Se llama punto de ebullición, en este contexto, a la temperatura que hace que un líquido, a una cierta presión, hierva y empiece a atravesar el mencionado cambio de estado; si este último solo se lleva a cabo en la superficie del líquido, el fenómeno se conoce como evaporación.

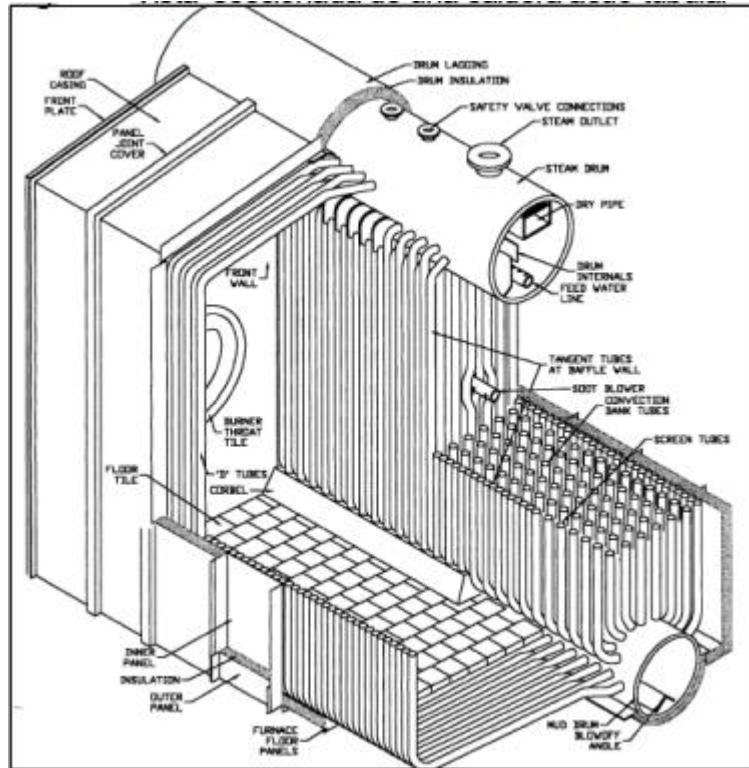
### 2.2.50. Caldera

La caldera es una máquina que produce vapor al calentar agua por medio del calor generado por el consumo de un combustible no nuclear, o por electricidad de resistencia, las calderas se utilizan para muchos rubros (industria alimentaria, sanidad,

transporte, etc.). Sin embargo, se denomina generador de vapor específicamente a las calderas destinadas a generar energía térmica, el sistema de transferencia de calor de las calderas de combustión está compuesto básicamente por una red de tubos, que sirven como frontera y como medio de transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua. Dependiendo de la configuración de este sistema, las calderas se dividen en dos grandes grupos

#### **2.2.51. Tipos de Calderas**

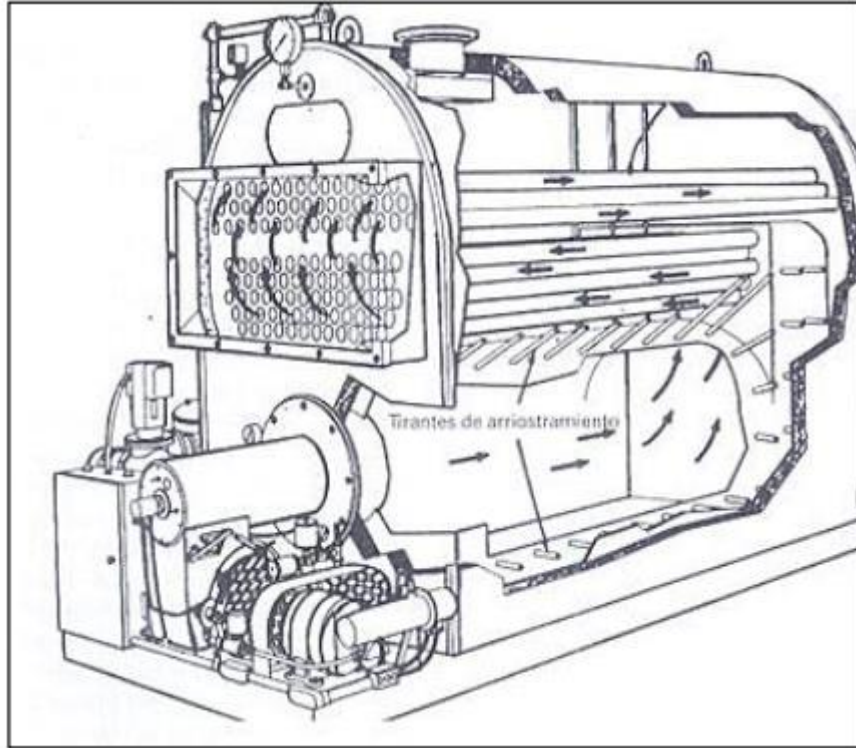
- **Calderas acuo-tubulares:** En este tipo de calderas el agua y/o el vapor circulan al interior de tubos generalmente de acero, que por su parte exterior están en contacto directo con el fuego y los gases de combustión a alta temperatura. Este tipo de calderas de combustión, se usa casi exclusivamente cuando se desea alcanzar grandes presiones de trabajo y altos rendimientos, presentamos un esquema de una caldera acuo-tubular en la figura 6



**Figura 6.** Caldera acuo-tubular

Fuente: KENNETH E, Heselton. Boiler operator's handbook, Edicion ilustrada. The Fairmont Press, inc, Estados Unidos 2005. Pag53

- **Calderas piro-tubulares:** Son las más antiguas y de uso más extendido debido a su diseño simple y sus bajos costos. En este tipo de calderas, los tubos de acero se encuentran sumergidos en un tanque cilíndrico que actúa como cámara de agua y de vapor, mientras que, por el interior, los gases de combustión circulan a alta temperatura. La vista de una caldera piro-tubular está representada en la figura 7



**Figura 7.** Caldera piro-tubular

Fuente: KOHAN L, Antoni. Manual de calderas 1ra Ed. McGRAW-Hill Pag 60

### **2.2.52. Circuitos Eléctricos**

Un circuito eléctrico es el conjunto de elementos eléctricos conectados entre sí que permiten generar, transportar y utilizar la energía eléctrica con la finalidad de transformarla en otro tipo de energía

### **2.2.53. Chimenea**

Es un cañón o conducto a través del cual los humos y gases de la combustión, ya transformados en residuos, son expulsados hacia la atmosfera.

## **2.3 Bases Legales**

Las bases legales de esta investigación se encuentran representadas en primer lugar, en la **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2000)**, donde se destaca el **Artículo 129**, cuando establece:

“Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios ambientales y socio culturales. El estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas.

En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que involucren los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviera expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si este resultara alterado, en los términos que fije la ley (pág. 43).”

Para garantizar el cumplimiento de lo establecido en el citado artículo es importante la aplicación del sistema de control por parte del estado ya que es el promotor y responsable de promover el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a través de leyes especiales fomentará el conocimiento científico y tecnológico, pero establecerá las políticas referente a la regulación, explotación, protección y conservación de los recursos naturales, por ello se establece la obligación de efectuar estudios de impacto ambiental a todas aquellas actividades que pueda alterar el ecosistema.

Otros de los fundamentos legales de la investigación lo representan la **Ley Orgánica del Ambiente**, de donde se extraen los siguientes Artículos:

## **Artículo 22**

“La planificación del ambiente constituye un proceso que tiene como finalidad conciliar el desarrollo económico y social con la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable.”

## **Artículo 23, numerales 1, 2.**

Los lineamientos para la planificación del ambiente son:

1. La conservación de los ecosistemas y el uso de estos asegurando su permanencia
2. La investigación como base fundamental del proceso de planificación, orientada a determinar el conocimiento de las potenciales y las limitaciones de los recursos naturales, así como el desarrollo, transferencia y adecuación de tecnologías compatibles con el desarrollo sustentable

## **Artículo 25**

“Las personas naturales y jurídicas, públicas y privadas, deberán programar y ejecutar sus actividades de acuerdo con los planes establecidos y las disposiciones contenidas en esta ley y los instrumentos legales aplicables.”

## **Artículo 60:**

Para la conservación de la calidad de la atmosfera se considerarán los siguientes aspectos:

1. Vigilar que las emisiones a la atmosfera no sobrepasen los niveles permisibles establecidos en las normas técnicas.
2. Reducir y controlar las emisiones de la atmosfera producidas por la operación de fuentes contaminantes de manera que se asegure la calidad del aire y el bienestar de la población y demás seres vivos...

## **Artículo 83**

“El estado permitirá la realización de actividades capaces de degradar el ambiente, siempre y cuando su uso sea conforme a los planes de ordenación

del territorio, sus efectos sean tolerables, generen beneficios socioeconómicos y se cumplan las garantías, procedimientos y normas...”

Los artículos mencionados de la presente ley establece las disposiciones y principios para la gestión del ambiente en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental para contribuir al sostenimiento del planeta, estableciendo las leyes que asegure un ambiente ecológicamente equilibrado, la evolución del impacto ambiental opera mediante un análisis continuo y cumpliendo los lineamientos para así llevar a cabo una acción sin daños intolerables al ambiente conforme a esta ley.

Finalmente, la norma **COVENIN** es el ente encargado de velar por la estandarización y normalización bajo lineamientos de calidad en Venezuela, estableció los requisitos mínimos para la elaboración de productor, materiales, y demás aspectos que esta norma rigen. A partir del año 2004 estas actividades de **COVENIN** pasaron a ser ejecutadas por **FONDONORMA**. Es importante destacar que estas normas garantizaran los requerimientos técnicos exigidos.

En esta norma tenemos **NORMA VENEZOLANA COVENIN 2217-84. GENERADORES DE VAPOR. INSTALACION**. El objetivo de esta norma es establecer los requisitos mínimos para la instalación de generadores de vapor, sus accesorios y aparatos auxiliares.

Las normativas **ASME**, es una norma dedicada a la ingeniería mecánica, cuenta con el Código de Calderas y Recipientes, con el objeto de garantizar el servicio útil, la protección de la vida humana y la propiedad. La edición de 2010 del Código proporciona las normas para la fabricación de un componente como documentos de apoyo, como Materiales (Sección II, Parte A y D), Examen no destructivo (Sección V), y Las Calificaciones de las Soldaduras (Sección IX).

La norma **UNE 123001** (Calculo, diseño e instalación de chimeneas modulares), esta norma tiene como objetivo establecer los criterios que se debe tener en la construcción de chimeneas para la evacuación de los productos de la combustión, y en

el campo de la instalación su aplicación en todo tipo de chimeneas, entre las cuales se encuentran la relativas a las calderas de condensación y las aplicaciones de biomasa.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

La presente investigación consta con una sucesión de pasos se utilizaron para su metodología, permitiendo así exponer sus objetivos. Por esta razón Tamayo y Tamayo (2003) define al marco metodológico como: “Un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento”, dicho conocimiento se adquiere para relacionarlo con las hipótesis presentadas ante los problemas planteados. (p.37)

#### **3.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación de este estudio se puede definir según Tamayo y Tamayo (2003) como:

“Cuando se va a resolver un problema en forma científica, es muy conveniente tener un conocimiento detallado de los posibles tipos de investigación que se pueden seguir. Este conocimiento hace posible evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para un procedimiento específico” (Pág. 43)

En cuanto al presente trabajo se ubicará dentro de un tipo de investigación de proyecto factible, ya que en él se propone una solución a una problemática existente, la cual es la crisis energética existente en el país que afecta a distintos sectores que, en el caso de esta investigación, es el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia. Según el Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de La Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2001), define:

“El proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas,

requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. El proyecto factible comprende las siguientes etapas generales: diagnóstico, planteamiento y fundamentación teórica de la propuesta; procedimiento metodológico, actividades y recursos necesarios para su ejecución; análisis y conclusiones sobre la viabilidad y realización del proyecto”

### **3.2. Diseño de Investigación**

El diseño de la investigación según Arias (1999), se define como: “El diseño de la investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder el problema planteado” (Pág. 47)

Se considera una investigación de campo y documental, ya que la información necesaria se obtuvo de manera directa en el lugar de trabajo. El estudio permitió captar la información vital para los parámetros de diseño del proyecto, como lo es la demanda energética del hospital, el ambiente o condiciones de trabajo que puede tener un instrumento de ingeniería como el que se va a diseñar, junto esto vienen las observaciones y anotaciones de los datos, facilitando la realización de un análisis y así poder llegar a las conclusiones concisas en cuanto a la utilización, funcionamiento de la caldera de Biomasa como generador eléctrico para este ente sanitario. A continuación, se puede definir los tipos de diseño que se utiliza en esta investigación

- Investigación Documental: Según Arias (1999), considera este tipo de diseño, como: “Es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos” (Pág. 47)
- Investigación de Campo: Este tipo de diseño se determina según Arias (1999), a modo que: “Consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna” (Pág.48)

### **3.3. Nivel de la Investigación**

El tipo de investigación del proyecto se plantea como: “El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio.” definida por Arias (2012) (Pág. 23)

El nivel de la investigación se clasifica en:

- Investigación Exploratoria: Se define según Arias (2012) como: “La investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos” (Pág. 23)

El tipo de nivel en el cual se enfoca el presente trabajo es un nivel de investigación descriptiva, ya que se describe a detalle y con todos los lineamientos correspondientes, el proceso de diseño de una caldera de biomasa, que será destinada a funcionar como generador de energía eléctrica auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, ayudando así a este ente sanitario a que no le falte energía eléctrica vital para su funcionamiento adecuado; además de producir energía limpia y no contaminante. A continuación, se puede ver la definición según Arias (2021) del tipo de nivel de la investigación utilizado en este proyecto de investigación

“La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.” (Pág. 24)

### **3.4. Población y Muestra**

#### **3.3.1 Población**

Para Arias (2006) (Pág. 81), define el término como: “Población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”.

En este caso para la población correspondiente para esta investigación son todos los tipos de calderas

### **3.3.2 Muestra**

En una investigación una muestra se refiere a: “Un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias 2012) (Pág. 83).

La muestra seleccionada para esta investigación son todas las calderas que funcionan con una biomasa como combustible

## **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

### **3.5.1. Técnicas**

Arias (2012) define la técnica como: “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (Pág. 67)

Para una investigación de campo, existen tres tipos de técnicas:

- Observación: Arias (2012) define este tipo de técnica, como:  
“La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (Pág. 69)
- Encuesta: Según Arias (2012) la encuesta es: “Se define la encuesta como una técnica que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos acerca de sí mismos, o en relación con un tema en particular.” (Pág. 72)
- Entrevista: Arias (2012) conceptualiza a la entrevista como:

“La entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida.” (Pág. 73)

En este caso se utilizará la observación, la encuesta y la entrevista, por medio del uso de sus distintos instrumentos que se definirán más adelante; se utilizaran estas técnicas, ya que, se tiene contacto directo con la población y muestra, y son los más indicados para obtener datos confiables y precisos.

### **3.5.2. Instrumentos**

Según Arias (2012) el instrumento de recolección de datos es: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (Pág. 68)

- Observación Estructurada: “Es aquella que además de realizarse en correspondencia con unos objetivos, utiliza una guía diseñada previamente, en la que se especifican los elementos que serán observados.” (Pág. 70)
- Escala de estimación: “A diferencia de la lista de cotejo, que sólo considera la presencia o ausencia, este instrumento consiste en una escala que busca medir cómo se manifiesta una situación o conducta.” (Pág. 71)
- Encuesta Escrita: “La encuesta escrita es la que se realiza mediante un cuestionario” Arias (2012) (Pág. 72)
- El cuestionario es un instrumento bastante completo que Arias (2012) define como: “La modalidad de encuesta que se realiza de forma escrita mediante un instrumento o formato en papel contentivo de una serie de preguntas. Se le denomina cuestionario autoadministrado porque debe ser llenado por el encuestado, sin intervención del encuestador.” (Pág. 74)

- Cuestionario de preguntas cerradas: Según Arias (2012) (Pág. 74) se define como: “Son aquellas que establecen previamente las opciones de respuesta que puede elegir el encuestado.”
- Dicotómicas: “Cuando se ofrecen sólo dos opciones de respuesta.” Arias (2012) (Pág. 74)
- Entrevista no estructurada: “En esta modalidad no se dispone de una guía de preguntas elaboradas previamente. Sin embargo, se orienta por unos objetivos preestablecidos que permiten definir el tema de la entrevista, de allí que el entrevistador deba poseer una gran habilidad para formular las interrogantes sin perder la coherencia.” Arias (2012) (Pág. 73)

Luego de definir según la teoría cada una de las técnicas que se usó, se dice que los instrumentos que se utilizaron fue la observación estructurada con uso de la escala de estimación, ya que, se trabajó de manera directa con las personas que hacen vida en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia; por otra parte, se hizo uso de la entrevista no estructurada, ya que se necesitó estar en contacto directo con el lugar donde se desarrolló el proyecto de investigación, además de las personas que acuden al Hospital, en donde se obtuvieron datos de relevancia para el desarrollo de la propuesta; también se hizo uso de la encuesta por medio de un cuestionario de preguntas cerradas dicotómico, el cual se puede observar en el apéndice A del trabajo de investigación; todas estos instrumentos se aplicaron a través del contacto directo con los pacientes y el personal que labora en el Hospital Central, de modo que se pudo conocer sus expectativas en relación a los planteamientos formulados en los instrumentos de recolección de datos diseñados.

### **3.6. Validez y Confiabilidad**

#### **3.6.1. Validez**

Según Hernández y otros (2010), la validez es: “La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir.” (Pág. 201) (Ver apéndice B)

### **3.6.2. Confiabilidad**

Para Hernández y otros (2010), la confiabilidad se conceptualiza como: “La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales.” (Pág. 200) (Ver apéndice C)

### **3.7. Técnicas de Análisis de Resultados**

Para Hernández y otros (2015), el análisis de los datos se: “Centra en la interpretación de los métodos de análisis cuantitativos y no en los procedimientos de cálculos de estos” (Pág. 349).

En esta investigación, se empleó la estadística descriptiva a través del análisis porcentual y las frecuencias absolutas, con lo cual se presentó e interpretó los resultados para la elaboración del diagnóstico integral del trabajo de campo.

### **3.8. Fases Metodológicas de la Investigación**

Se procede a analizar cada objetivo específico

#### **Fase I Diagnóstico de la situación actual con respecto a la demanda energética en las distintas áreas del hospital.**

El punto clave en la investigación se basa en cubrir la demanda energética que tiene el hospital de manera que se obtenga un estimado y añadiendo un factor de seguridad donde se obtenga como resultado de que cuando ocurra un corte eléctrico este será cubierto por cierta cantidad de horas estimadas, que no permitirán al hospital dejar de realizar ninguna actividad vital o que sea retardada a falta de la electricidad.

La demanda energética abarcará todos los aspectos considerados de vital importancia en el ente sanitario, que permitirán la continuidad de sus funciones y que no se vean suspendidas por el periodo del corte eléctrico, aquellas funciones no

consideradas vitales serán excluidas ya que se toma en consideración, las áreas donde hay más demanda energética ya sea por maquinas, instrumentos o personal del hospital que requieran de electricidad para poder hacer uso de sus labores

### **Fase II Determinación de la ubicación de la caldera y las instalaciones eléctricas**

La ubicación de la caldera es vital ya que se debe tomar en cuenta los espacios de uso sanitario y las posibles implicaciones que trae colocar una caldera cerca de un hospital, se debe tomar en cuenta las normas de seguridad nacionales e internacionales de calderas o maquinaria ingenieril, para determinar un perímetro en el cual se pueda posicionar y un área determinada para ello.

También es considerable que debe estar alejado del hospital en si para causar ruidos molestos a los pacientes o algunas otras implicaciones debido al mecanismo de dicha caldera, debe considerarse que la Comisión Venezolana de Normas Industriales puede establecer un acuerdo, ya que si bien en el hospital hay un llamado cuarto de máquinas, además al ser diseño de un generador para el hospital, debe realizarse una área específica y que esté aprobada por esta institución para poder tener una acreditación nacional, debido a que el hospital es un ente público

### **Fase III Diseño de cada una de las partes de la caldera de biomasa para funcionar como generador eléctrico auxiliar**

Se deben tomar en cuenta todas las partes para poder completar la función requerida como generador eléctrico para poder llevar a cabo la tarea de surtir la demanda energética adecuadamente. Tomando en cuenta todas las consideraciones y factores relevantes de la zona, los materiales a utilizar, los requerimientos, equipos, maquinaria, para poder hacer que todo funcione correctamente

### **Fase IV Análisis de los costos de la creación de una caldera de biomasa para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia**

Esta es una fase muy importante ya que determina la inversión necesaria para dejar el proyecto en etapa de pre ejecución, a pesar de que no se espera que ocurra, el deber

es ajustarse a la realidad y definir aquellos costos de fabricación y todo lo implicado en el proyecto financieramente para poder dar una referencia del capital activo que se necesita para materializar esta propuesta y convertirla de una propuesta factible a un hecho tangible donde se pueda demostrar la eficacia tanto del ahorro energético y la preservación ambiental, como de la necesidad tangible que se vive en el hospital y las repercusiones que trae a este ente sanitario los cortes de electricidad que tanto afectan al país.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Diagnóstico de la situación actual con respecto a la demanda energética en las distintas áreas del hospital.**

Para realizar el diagnóstico completo de la demanda de energía eléctrica en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, se hace la estimación de consumo energético en hospitales de mayor consumo en entes internacionales, debido a que no hay fuente de estimaciones nacionales. Se tomó esta fuente internacional con base en el cálculo de datos de consumo medio por hora, a su vez, resulta beneficioso debido al uso no contemplado en este país de los sistemas de calefacción, que permite aumentar el consumo, de esta manera no se necesita un factor de aumento en los cálculos de demanda energética estimados en las áreas que comprenden las necesidades primordiales y que están establecidas en este trabajo de investigación, se puede definir esas áreas como: El hospital de adultos, el hospital de niños, área de maternidad, área de emergencias del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia.

El cálculo y las medidas de dichas áreas en los cuales se basa este trabajo de investigación, se realizó a manera de análisis topográfico, con la herramienta o sistema GPS (Global Position System) a través de una página web, que mediante la colocación de marcadores en las áreas de función o de mayor consumo eléctrico del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, permite determinar con una buena precisión el cálculo de las áreas de mayor uso eléctrico en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, que son consideradas posteriormente con el factor de estimación de consumo en vatios por hora ya mencionado; se cita de una página web llamada “Ipsom” información del consumo aproximado de los hospitales en España, así se tiene una idea de cómo calcular el consumo por área del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia:

“Los hospitales españoles tienen una alta variabilidad de consumos en función del estado de las instalaciones y de su tipología, un hospital puede

consumir entre 20-60 mil kWh por cama, unas 20 toneladas medias de CO2, lo que implicaría entre 180 y 580 euros mes: consume más una cama de hospital que un domicilio. Por metro cuadrado sería entre 150 kWh y 350 kWh. Aproximadamente el consumo de los hospitales es de 6 mil GWh lo que implica un consumo del 2% sobre el total del país.”

Las figuras de la 8 a la 11 muestran el proceso de medición de las áreas de mayor consumo del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia.



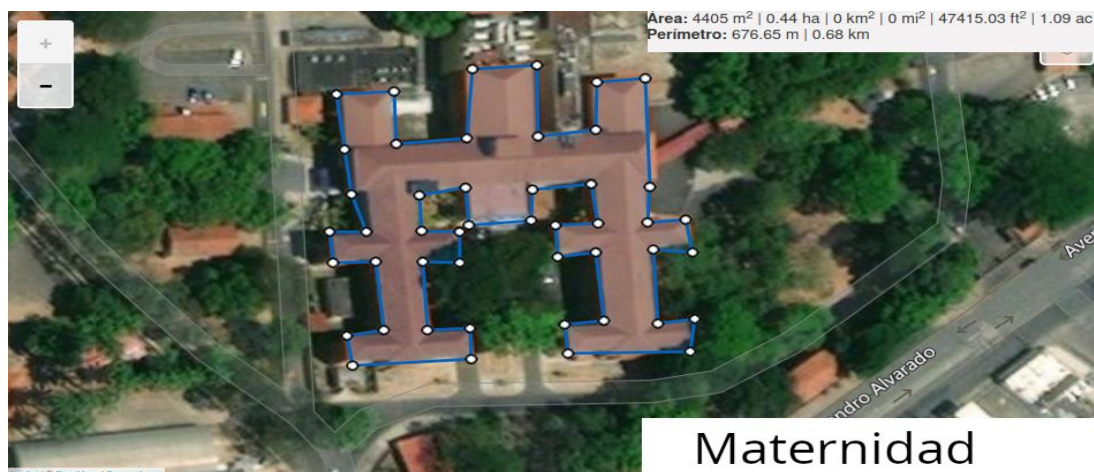
**Figura 8.** Medición del área de adultos Hospital Enrique Tejera de Valencia

Fuente: <https://www.calcmaps.com/es/map-area/>



**Figura 9.** Medición del Área de Pediatría Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Fuente: <https://www.calcmaps.com/es/map-area/>



**Figura 10.** Medición del Área de maternidad Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Fuente: <https://www.calcmaps.com/es/map-area/>



**Figura 11.** Medición del Área de emergencias Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Fuente: <https://www.calcmaps.com/es/map-area/>

Aplicando esto a cada piso de las edificaciones y usando la escala estimada del consumo energético en kilovatios por metro cuadrado cada hora se obtienen los siguientes datos (Ver tabla 1):

**Tabla 1.** Resumen del consumo eléctrico estimado por áreas del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

Edificios	Área (m <sup>2</sup> )	Consumo KW/h
Hospital adulto (4 pisos)	16324	2.448.600,00
Maternidad (3 pisos)	13215	1.982.250,00
Hospital de niños	2038	305.700,00
Emergencias	1028	154.200,00
Total	32605	4.890.750,00

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

La energía recomendada ronda lo 5GWh, por lo tanto, si se desea saber la potencia requerida (Ecuación 17)

$$\text{Preq} = 5\text{GW}/\text{h} \frac{1}{3600\text{s}} = 1389 \text{ KW}/\text{s} \quad \text{Ec. (17)}$$

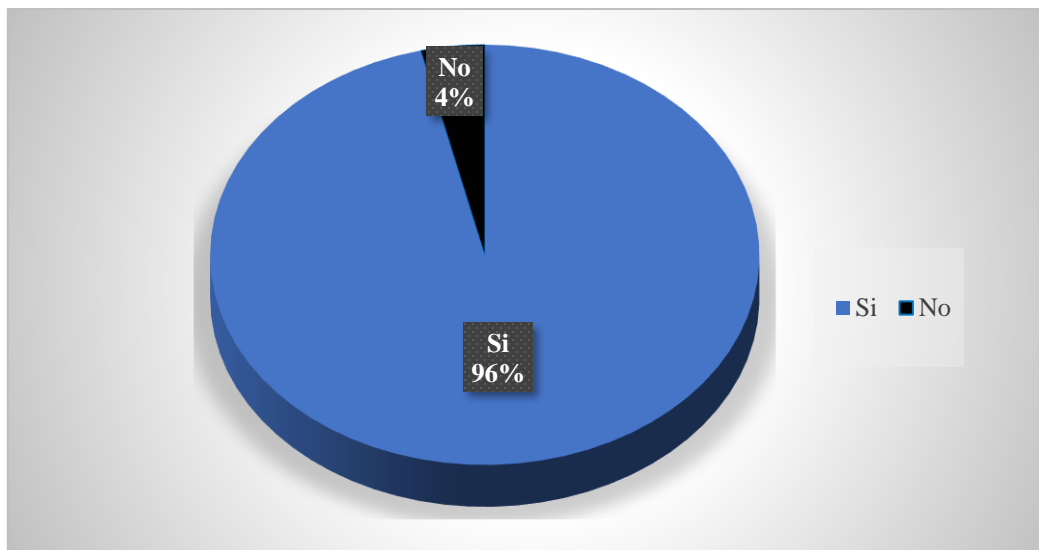
$$\text{Preq} = 1389\text{Kw}/\text{s}$$

Gracias al uso de los instrumentos de recolección de datos aplicados en este proyecto de investigación y que están definidos en el Capítulo III del mismo, se puede tener una apreciación de manera más directa de la situación que se vive en este ente sanitario desde el punto de vista de las personas que acuden a él; a continuación, se hará un análisis de las respuestas del cuestionario, el cual se puede apreciar en el apéndice A, realizado a las personas que hacen vida en el Hospital, de las cuales tomamos 80 personas, las cuales son 60 trabajadores del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia y 20 pacientes del mismo

**Tabla 2.** ¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia?

Pregunta 1	
¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia?	
Opción de respuesta	Cantidad de personas que respondieron
Si	77 personas
No	3 personas

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



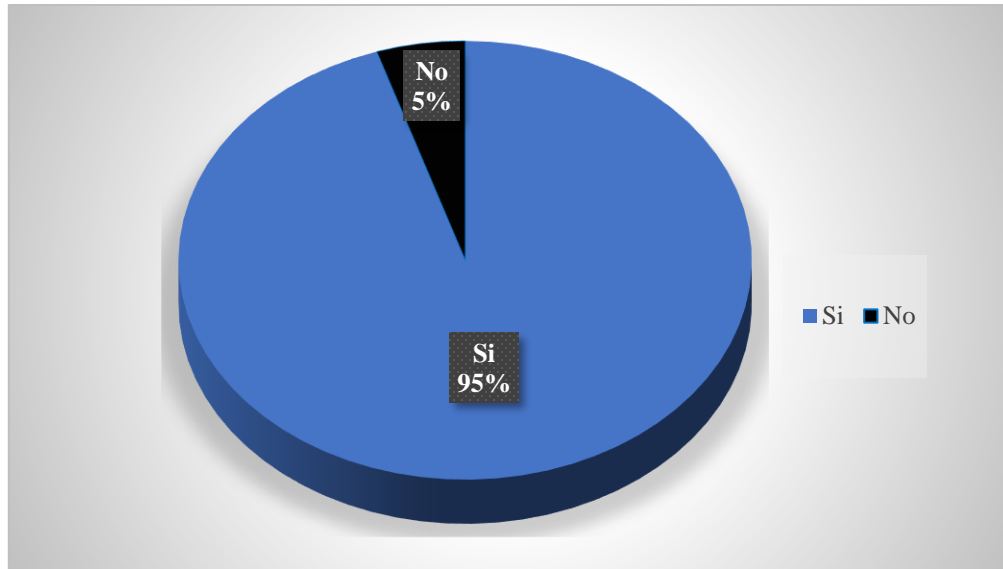
**Gráfico 1.** ¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia?  
Fuente: Estraño y Serrano

Con esta pregunta se conoce si la persona acude regularmente a este ente sanitario y si vive la realidad de este de manera más seguida y más de cerca

**Tabla 3.** ¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico?

Pregunta 2	
¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico?	
Opción de respuesta	Cantidad de personas que respondieron
Si	76 personas
No	4 personas

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



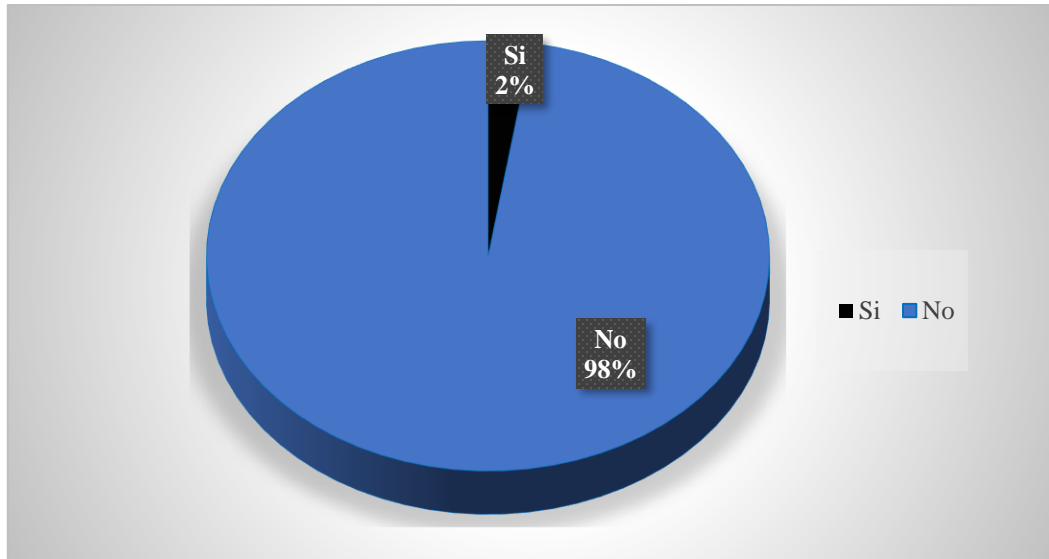
**Gráfico 2.** ¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico?  
Fuente: Estraño y Serrano

Con esta pregunta se sabe la importancia del servicio eléctrico en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

**Tabla 4.** ¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?

Pregunta 3	
¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?	
Opción de respuesta	Cantidad de personas que respondieron
Si	2 personas
No	78 personas

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Gráfico 3.** ¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?

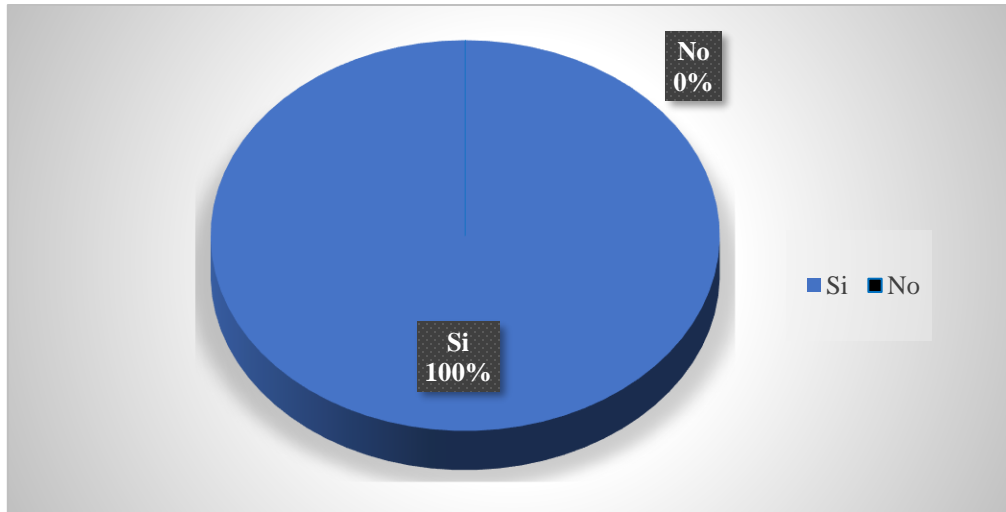
Fuente: Estraño y Serrano

Con esta pregunta se conoce la necesidad del servicio eléctrico en las áreas evaluadas por este proyecto de investigación del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

**Tabla 5.** ¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área?

Pregunta 4	
¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área?	
Opción de respuesta	Cantidad de personas que respondieron
Si	80 personas
No	0 personas

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Gráfico 4.** ¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área?

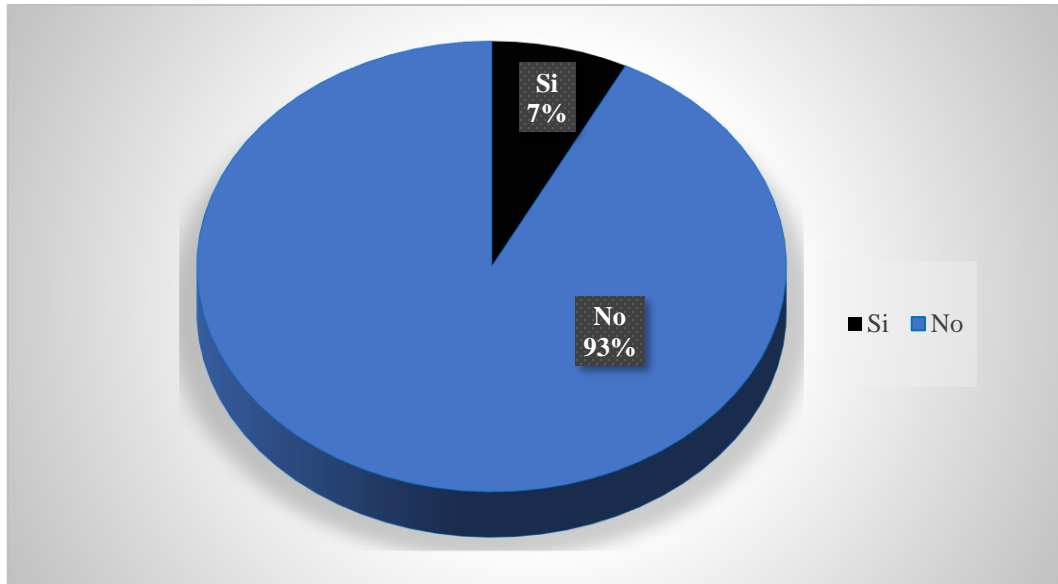
Fuente: Estraño y Serrano

Con esta pregunta se demuestra que debe existir un flujo de energía eléctrica de manera constante, ya que es de suma importancia que exista está al 100% en las áreas del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

**Tabla 6.** ¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?

Pregunta 5	
¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?	
Opción de respuesta	Cantidad de personas que respondieron
Si	6 personas
No	74 personas

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Gráfico 5.** ¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?

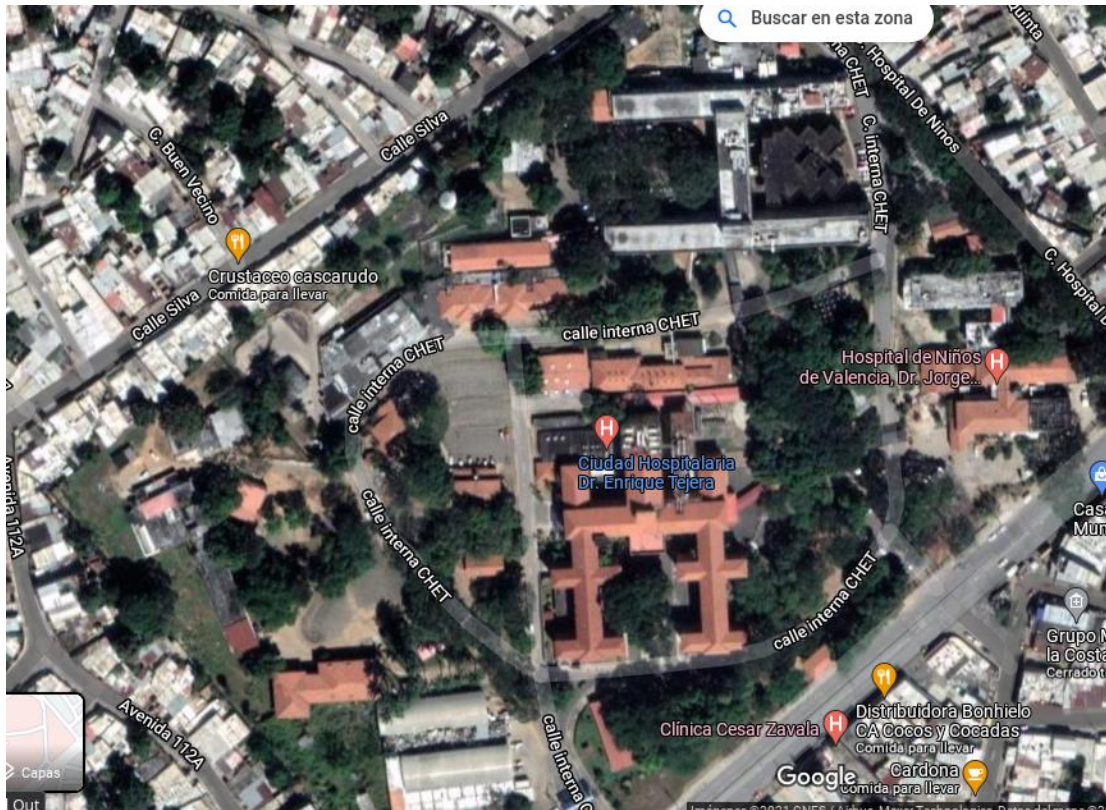
Fuente: Estraño y Serrano

Con esta pregunta se sabe si existen otras alternativas que puedan ayudar al Hospital a que no le falte energía eléctrica en ningún momento, como se puede observar solo un porcentaje pequeño contesta de manera afirmativa, por lo cual no se tiene la seguridad de que esto sea así y nuestra propuesta se hace más factible de aplicar en este caso

#### **4.2. Determinación de la ubicación de la caldera y las instalaciones eléctricas**

Para poder determinar una ubicación que sea ideal para la caldera, se tomó en cuenta las siguientes características:

- La liberación de gases no debe afectar al hospital
- La red de distribución eléctrica debe estar colocada de manera subterránea
- Debe ser un espacio amplio donde se pueda situar adecuadamente la maquinaria



**Figura 12.** Imagen satelital de la CHET

Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Ciudad+Hospitalaria+Dr.+Enrique+Tejera>

Según las cotas geodésicas, las posiciones del hospital (Ver figura 12) al Oeste y al Norte de Valencia registran una mayor altitud que al Este y al Sur, por lo tanto, los vientos recorren su trayectoria desde lugares de mayor presión en donde influye la altura, hacia donde la presión es menor, aunque no siempre es así, debido al efecto de otras variables climatológicas, pero este criterio es el principal determinante para los vientos, por lo tanto, los gases expulsados son desplazados al Sur-Este por los vientos, por lo cual una posición al Noroeste implica una intercepción entre la trayectoria de los gases expulsados por la caldera y la ubicación del hospital, utilizando lo explicado en esta sección se debe evitar que la caldera y sus instalaciones se sitúen hacia el Noroeste.

La mejor manera de distribuir la red eléctrica es colocándola debajo de la tierra, ya que, así se garantiza que el suministro de energía llegue a cada uno de los edificios del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, además, al colocarlo de manera subterránea no se entorpece con la red eléctrica ya existente y las edificaciones aledañas a la caldera

En cuanto al espacio adecuado, es necesario definir un espacio amplio debido al tamaño de la caldera y de todo el equipo necesario para hacerla funcionar, ya sean el equipo eléctrico como la unidad de almacenamiento del combustible para hacer funcionar la caldera; el lugar debe ser, un lugar espacioso y de fácil acceso tanto peatonal como automovilístico, ya que es necesario el acceso de vehículos de carga para el ensamble de la caldera, además que en caso de una falla sea de fácil el reemplazo de una pieza o el arreglo de esta, y en cuanto al acceso peatonal es necesario para hacerla funcionar al momento de una falla eléctrica; es por ello, que es de gran importancia la ubicación de la caldera; por lo tanto se decide colocar la caldera al Sur-Este del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, (figura 13)



**Figura 13.** Imagen satelital de la CHET

Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Ciudad+Hospitalaria+Dr.+Enrique+Tejera>




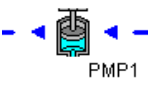

#### **4.3. Diseño de cada una de las partes de la caldera de biomasa para funcionar como generador eléctrico auxiliar**

Para proceder con el diseño de la caldera primero se considera que el sistema en el que la misma funciona es un Ciclo Rankine, se asume valores establecidos por fuentes bibliográficas “somim.org.mx”, para poder generar un modelo en un programa que permite determinar si la eficiencia de dicho ciclo cumple con la demanda establecida por el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

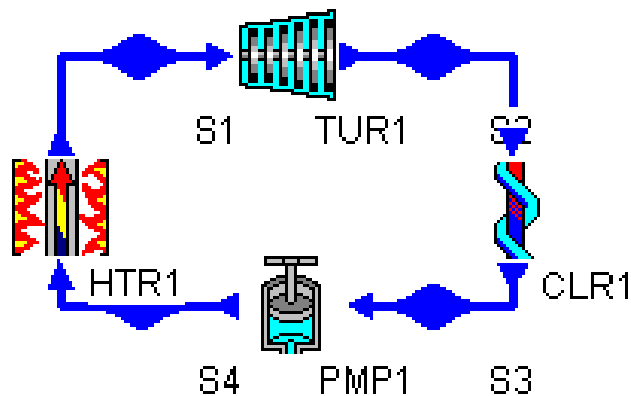
##### **4.3.1 Diseño del ciclo de generación de Potencia**

Con apoyo del software “Cyclecad” se logra representar una simulación del ciclo de generación de potencia que se utiliza, para luego diseñar la caldera en la tabla 7 y la figura 14 se muestran la representación gráfica de cada uno de los elementos, y un esquema del ciclo y como estos están dispuestos en el ciclo que se utiliza:

**Tabla 7.** Representación Gráfica de los elementos del Ciclo Rankine en el Programa

Representación gráfica en el programa	Definición del elemento
	Caldera
	Turbina
	Condensador
	Bomba
	Estado termodinámico

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Figura 14.** Representación del ciclo Rankine en el Programa

Fuente: Estraño y Serrano

Una vez definido el ciclo y cada uno de sus elementos participantes en el ciclo, se debe asumir los valores iniciales, con los cuales el programa calcula los demás estados termodinámicos, para así poder saber los valores y resultados más relevantes del ciclo,

todos los valores asumidos para que el programa realice los cálculos necesarios, están plasmados en la tabla 8

**Tabla 8.** Valores asumidos del Ciclo Rankine en el programa

<b>Criterio asumido</b>	<b>Elemento</b>	<b>Valor Asumido</b>
La caldera trabaja isobáricamente, mas no isocoricamente	Caldera	--
La turbina trabaja adiabáticamente, mas no isoentrópicamente ni isotérmicamente Se obtiene como resultado un rendimiento adiabático	Turbina	$\eta=65\%$
La Bomba trabaja adiabáticamente, mas no isoentrópicamente ni isotérmicamente El resultado es un rendimiento adiabático	Bomba	$\eta=80\%$
El condensador trabaja isobáricamente, mas no isocoricamente	Condensador	--
Se asume un valor de temperatura al igual que un valor de presión, por el valor de estas variables, por lo tanto, la fase es completamente gaseosa en este estado termodinámico	Estado Termodinámico $S_1$	$T=450^{\circ}\text{C}$ $P=5 \text{ Mpa}$
Se asume que el fluido está en el estado de líquido saturado, obteniendo un valor de presión	Estado Termodinámico $S_3$	$P=0.012 \text{ Mpa}$
Se asume que el modelado es un motor térmico y el fluido de trabajo es agua, al igual que su flujo másico tiene un valor asumido para satisfacer la demanda del Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia con un factor de seguridad	Ciclo en General	$\dot{m}=1.9\text{kg/s}$

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Luego de que se asuma todos estos valores, el programa puede comenzar a calcular cada estado termodinámico al igual que las variables energéticas en cada elemento del ciclo, se definen cada uno de esos valores en las tablas desde la 9 a la 17

**Tabla 9.** Valores del Estado Termodinámico  $S_1$

Estado Termodinámico $S_1$					
Presión	Temperatura	Entalpia	Volumen Especifico	Energía P.	Entropía
5 Mpa	450°C	3316kJ/kg	0.06m <sup>3</sup> /kg	3000kJ/kg	6.82kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 10.** Valores del Estado Termodinámico  $S_2$

Estado Termodinámico $S_2$					
Presión	Temperatura	Entalpia	Volumen Especifico	Energía P.	Entropía
0.012Mpa	49.43°C	2579kJ/kg	12.3m <sup>3</sup> /kg	2431kj/kg	8.05kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 11.** Valores del Estado Termodinámico  $S_3$

Estado Termodinámico $S_3$					
Presión	Temperatura	Entalpia	Volumen Especifico	Energía P.	Entropía
0.012Mpa	30°C	125.7kJ/kg	0.001m <sup>3</sup> /kg	125.7kJ/kg	0.43kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 12.** Valores del Estado Termodinámico  $S_4$

Estado Termodinámico $S_4$					
Presión	Temperatura	Entalpia	Volumen Especifico	Energía P.	Entropía
5 Mpa	30.41°C	131.9kJ/kg	0.001m <sup>3</sup> /kg	126.9kJ/kg	0.44kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 13.** Valores de la caldera

Caldera			
Q	$\Delta P$	$\Delta h$	$\Delta S$
3184kJ/kg	0 Mpa	3184kJ/kg	6.38kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 14.** Valores del condensador

Condensador			
Q	$\Delta P$	$\Delta h$	$\Delta S$
-2453kJ/kg	0 Mpa	-2453kJ/kg	-7.61kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 15.** Valores de la bomba

Bomba					
Q	$\Delta P$	$\Delta h$	$\Delta h_s$	$\Delta s$	P. Eje
0kJ/kg	4.98 Mpa	6.26kJ/kg	5.01kJ/kg	0.0041kJ/kg	11.89 kW
$\eta$ Adiabático		Trabajo del eje		Trabajo Isentrópico	
80%		-6.26kJ/kg		-5.01kJ/kg	

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 16.** Valores de la Turbina

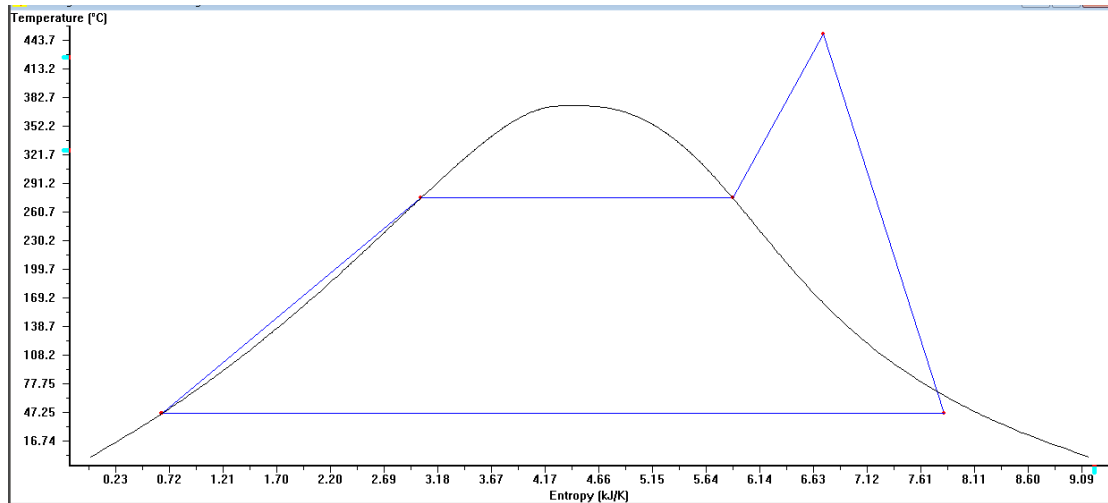
Turbina					
Q	$\Delta P$	$\Delta h$	$\Delta h_s$	$\Delta s$	P. Eje
0kJ/kg	-4.988 Mpa	-737.4kJ/kg	-1134kJ/kg	1.23kJ/kg	1401 kW
$\eta$ Adiabático		Trabajo del eje		Trabajo Isentrópico	
65%		737.4kJ/kg		1134kJ/kg	

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

**Tabla 17.** Valores Generales del Ciclo

Ciclo					
$\eta$ Carnot	$\eta$ térmico	T. max	T. min	P. max	P. min
58.08%	22.96%	450°C	30°C	5 Mpa	0.012Mpa
P. entrada		P. Salida		P. Neta	
-11.89 kW		1401 kW		1389 kW	

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Gráfico 6.** Diagrama T-s del ciclo Rankine

Fuente: Estraño y Serrano

Una vez definido el ciclo de trabajo se empieza a seleccionar los elementos del mismo; como el trabajo de investigación y sus limitaciones lo indican el único diseño completo es el de la caldera, los demás elementos son seleccionados de catálogos para después en su posterior objetivo analizar los costos de selección

### 4.3.2 Selección de los elementos del ciclo

#### 4.3.2.1 Turbina

Primero se establece los valores básicos de entrada y salida de las variables en la turbina (Ver tabla 18)

**Tabla 18.** Valores para la selección de la turbina

Turbina II	Entrada	Salida
Presión	5 Mpa	0.012 Mpa
Temperatura	450°C	49.43°C
Entalpia	3316kJ/kg	2579kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

### Criterio de selección

Debido a la fiabilidad del fabricante, la versatilidad del modelo al ciclo de generación de potencia que se utiliza, el modelo seleccionado para la turbina es el SST-200 de Siemens que posee un alto grado de estandarización, facilidad de mantenimiento, al igual que la turbina

**Tabla 19.** Valores de la Turbina seleccionada Siemens SST-200

Fabricante	Siemens Energy
Modelo	SST-200
Potencia de Salida	Hasta 20 MW
Presión de entrada	Hasta 12 Mpa
Temperatura de entrada	Hasta 540 °C
Condiciones de Salida	
Número de extracciones controladas	1
Número de extracciones no controladas	Hasta 3

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Figura 15.** Turbina Siemens sst 200  
Fuente: Estraño y Serrano

#### 4.3.2.2 Condensador

El proceso de selección del condensador se hizo dependiendo de la energía del circuito que se quiere rechazar. Para la condensación del fluido de trabajo se utiliza un intercambiador de calor que opera en el rango de la diferencia de calor entre los estados termodinámicos de salida y entrada del condensador ( $S_2$  y  $S_3$ ) que también se observa en la tabla que se anexa a continuación (ver tabla 20)

**Tabla 20.** Valores de entrada y salida del condensador

	T	H
Estado $S_2$	49.43°C	2579kJ/kg
Estado $S_3$	30°C	125.7kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Figura 16.** Condensador  
Fuente: Estraño y Serrano

#### 4.3.2.3 Bomba

Para el criterio de selección de la bomba se requieren los valores anexados (ver tabla 21)

**Tabla 21.** Parámetros de la Bomba

Presión	6 Mpa
Potencia	11.89kw~
Caudal	1.9kg/s~6.9m <sup>3</sup> /h

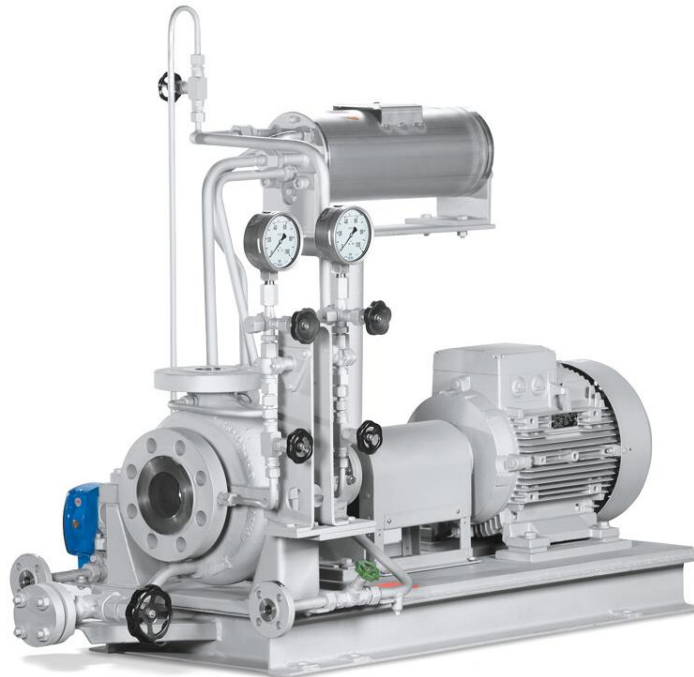
Fuente: Estraño y Serrano (2021)

La bomba seleccionada que cumple estos parámetros se anexa en la siguiente tabla (ver tabla 22)

**Tabla 22. Bomba Seleccionada**

Fabricante	KSB
Modelo	HPH
Tipo de Bomba	Centrífuga
Caudales de operación	Caudal mín: 2,5 m <sup>3</sup> /h máx: 1900 m <sup>3</sup> /h
Presiones de operación	Presión mín:0 bar máx: 11 Mpa Potencia
Potencia máxima	490 kW

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

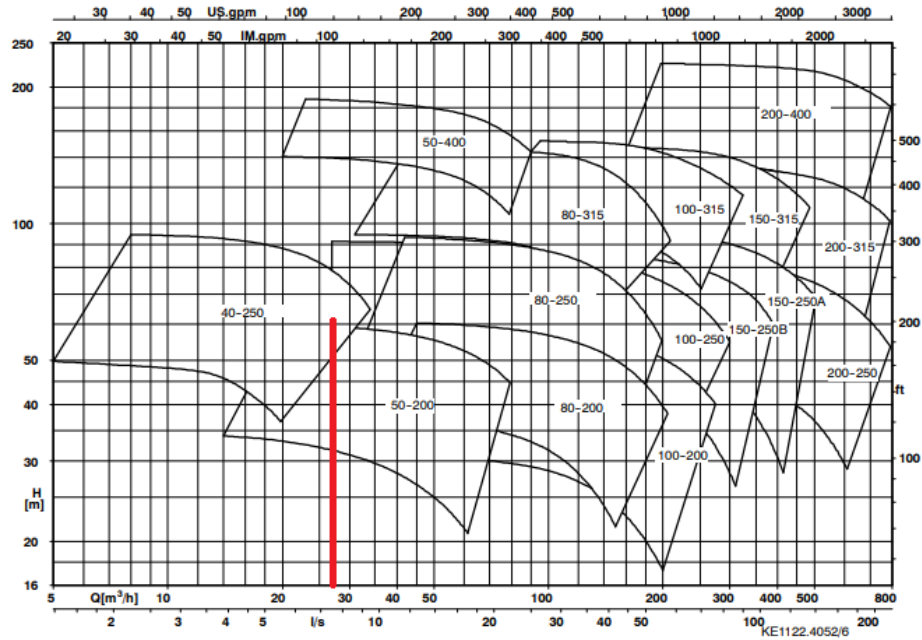


**Figura 17. Bomba KSB HPH**

Fuente: <https://www.ksb.com/es-co/lc/productos/bomba/bomba-instalada-en-seco/hph/H01A>

**Selection Charts**

n = 2900 1/min



**Gráfico 7. Curva de operación de la Bomba**

Fuente: <https://www.ksb.com/es-co/lc/productos/bomba/bomba-instalada-en-seco/hph/H01A>

**4.3.2.4 Generador eléctrico**

Para la generación de electricidad mediante inducción se escoge un alternador de alta tensión de la marca ENGGA y de la serie gs



**Figura 18.** Alternador eléctrico seleccionado

Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/guangzhou-engga-generators-co-ltd/product-160992-2336973.html>

**Tabla 23.** Características del alternador

Características eléctricas	Trifásico
Tipo	Con imán permanente Brushless
Configuración de contacto	4 polos
Potencia aparente	MIN: 400Kw Max 10.000Kw
Tensión	MIN 3Kv Max 13Kv

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

#### 4.3.2.5 Transformador eléctrico de distribución

Para conectar con la línea de distribución del hospital es importante tener en cuenta que la electricidad producida por el alternador eléctrico debe ser llevada a un transformador de distribución de 0.48Kv a 13.8Kv



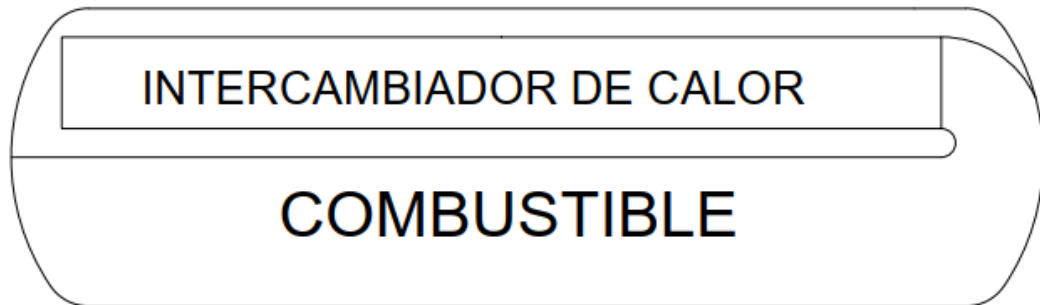
**Figura 19.** Transformador eléctrico de distribución

Fuente: [https://spanish.alibaba.com/product-detail/manufacture-supply-800-kva-13-8-kv-transformer-oil-immersed-distribution-transformer-1600266690676.html?spm=a2700.7724857.normal\\_offer.d\\_image.5e003eb5jNPI8t](https://spanish.alibaba.com/product-detail/manufacture-supply-800-kva-13-8-kv-transformer-oil-immersed-distribution-transformer-1600266690676.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.5e003eb5jNPI8t)

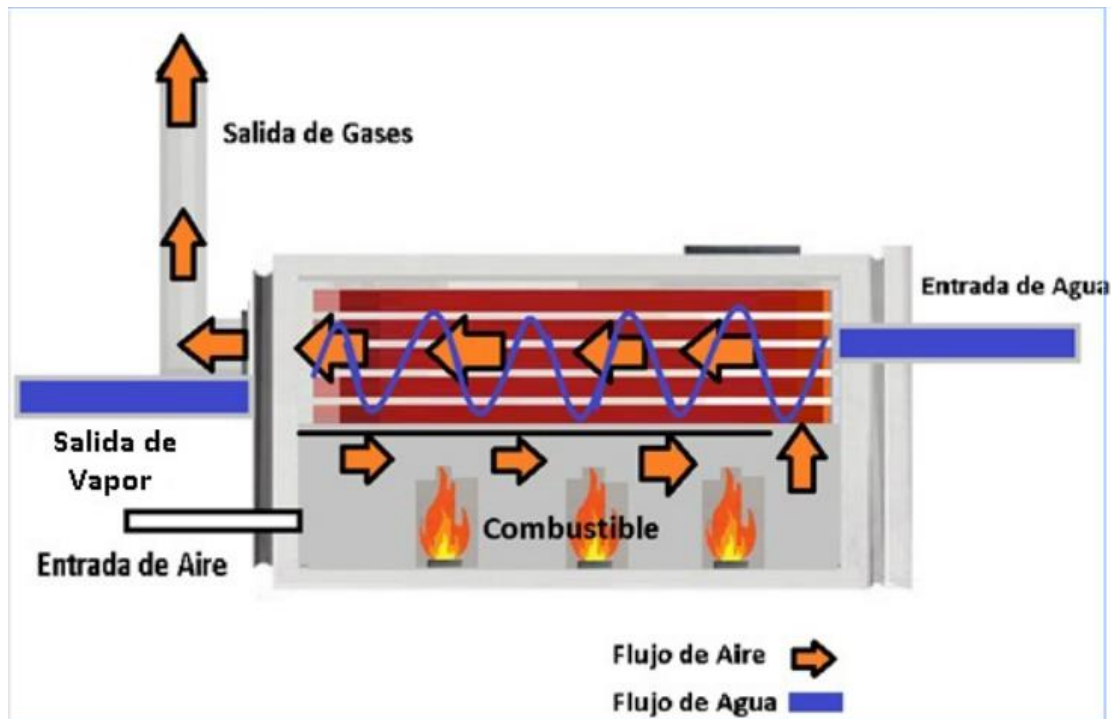
#### **4.3.3 Diseño conceptual según el funcionamiento de la caldera**

Se establece un diseño conceptual, para la caldera y sus partes según las normas citadas según ASME, tomando en cuenta así que el diseño bajo su clasificación según el tipo de su combustible, es una caldera de biomasa de diseño industrial para la generación de potencia mediante vapor sobrecalentado; para un ciclo de generación de potencia, su diseño según su clasificación, es de una caldera acuotubular  
Consta de las siguientes partes:

- Cámara de combustión
  - Tanque de almacén de combustible
  - Intercambiador de calor
  - Chimenea de escape de gases
- Otros Elementos de la caldera
- Elemento Encendedor
  - Recubrimiento aislante



**Figura 20.** Diseño conceptual de la caldera de biomasa  
Fuente Estraño y Serrano



**Figura 21.** Esquema de funcionamiento de la caldera  
Fuente Estraño y Serrano

#### 4.3.4 Determinación de las variables de entrada a la caldera de biomasa y consideraciones

##### 4.3.4.1 Cálculo de poder calorífico de la biomasa a utilizar

Existen diversos tipos de Biomasa, pero para poder lograr que la temperatura máxima en el ciclo sea fácil de alcanzar, en la caldera se debe seleccionar una clase de biomasa que pueda entregar todo el poder calorífico necesario para poder llegar a esa temperatura, a continuación, la tabla en el anexo K muestra el poder calorífico de algunas sustancias. Si se seleccionan pellets como elemento principal de combustible según la tabla en el anexo K, entonces se puede decir que el poder calorífico del elemento es 3940(kcal/kg).

##### 4.3.4.2 Características de los elementos de entrada a la caldera

Temperatura inicial del aire y del combustible

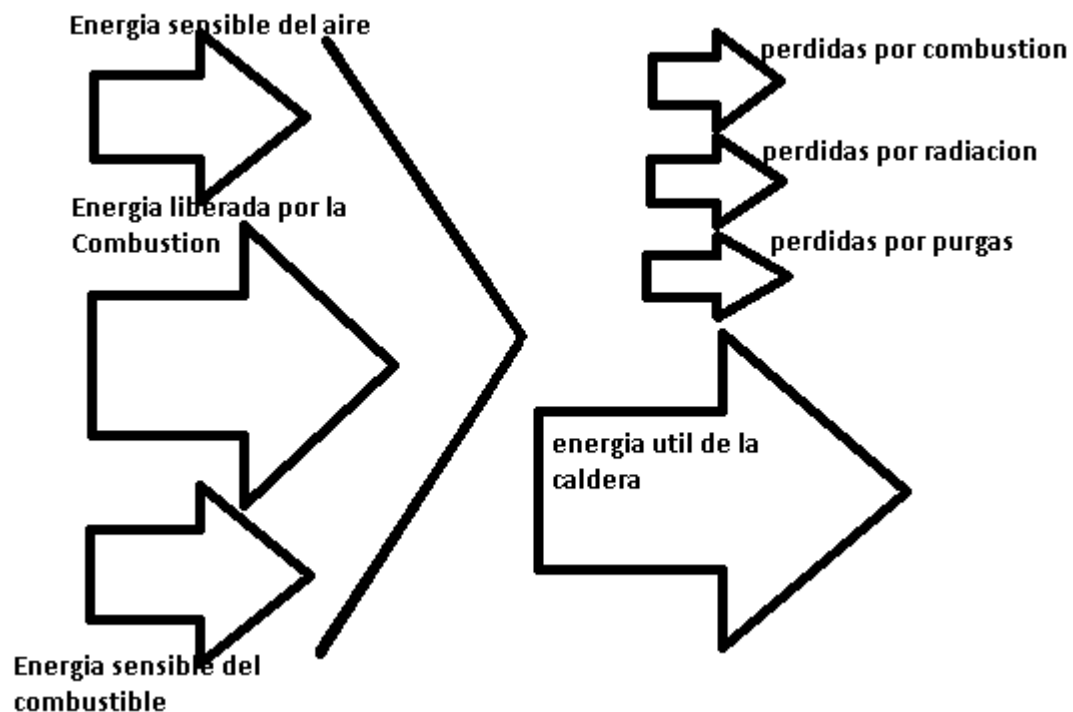
Aire: depende de las condiciones atmosféricas, en Carabobo ronda entre los 25°C a los 31°C

Combustible: se asumirá igual que la temperatura del ambiente

Presión atmosférica: 101.3kPa

#### 4.3.4.3 Determinación del calor útil que debe aportar la caldera y su relación con el calor aportado por el combustible

Para poder determinar la cantidad de energía que debe entregar la caldera y el combustible, se esquematiza la entrada y salida de energía de la caldera como un volumen de control siendo este representado en la figura 22



**Figura 22.** Transformación de la energía en el volumen de control de los elementos que entran y salen en la caldera

Fuente: Estraño y Serrano

Para analizar el calor útil de la caldera primero se observa los valores de entalpía en la entrada y salida de la misma, conjunto al flujo másico de agua en la entrada y vapor en la salida que será de un valor constante de 1.9kg/s

**Tabla 24.** Entalpías de entrada y salida de la caldera en el ciclo Rankine

	H(kJ/kg)
Entalpía a la entrada de la caldera	131.9
Entalpía a la salida de la caldera	3316

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Ecuación útil de la Caldera

$$Q_u = m v (H_s - H_e) \quad \text{Ec. (18)}$$

Siendo

Qu: Calor útil

mv: Flujo másico

Hs: Entalpía de salida

He: Entalpía de entrada

$$Q_u = 1.9 \text{Kg/s} (3316 \text{KJ/Kg} - 131.9 \text{KJ/Kg}) = 6049.79 \text{KJ/s} \quad \text{Ec. (19)}$$

### **Análisis Energético del combustible**

Para poder determinar el calor que puede aportar el combustible biomásico se determina mediante la ecuación de aporte teórico de combustible, para los siguientes

datos se debe saber que se asume un valor del flujo de combustible como 1 kg/h y además se sabe que

$$E_{ac} = (m_{comb} * PC_{comb}) + [m_{comb} * CP_{comb} * (T_i - T_f)] \quad Ec. (20)$$

Siendo:

$m_{comb}$ : Flujo másico del combustible

$PC_{comb}$ : Poder calorífico del combustible

$T_f$ : Temperatura Final

$T_i$ : Temperatura inicial

$CP_{comb}$ : Calor específico a presión constante del combustible

$T_f = 600^\circ C$

$T_i = 31^\circ C$

$PC_{comb}$ : Poder calorífico comb = 3940kcal/kg

$C_p$  calor específico comb = 0.55 kcal/kg $^\circ C$

Ec. (21)

$$E_{ac} = (1\text{kg/h} * 3940\text{kcal/kg}) + [1\text{kg/h} * 0.55\text{kcal/kg}^\circ C * (31^\circ C - 600^\circ C)]$$

$$E_{ac} = 1\text{kg/h} * [3940\text{kcal/kg}] + (-312.95\text{kcal/kg}) \quad Ec. (22)$$

$$E_{ac} = 3627.05\text{kcal/h} * 1\text{kg/h} = 15175.57\text{kJ/kg} * 1\text{kg/h} \quad Ec. (23)$$

#### **4.3.4.4 Relación entre el calor útil que debe tener la caldera y el calor generado por el combustible**

Se sabe que, la energía que requiere la caldera para elevar la temperatura deseada del fluido, y, la energía por unidad de hora que requiere el combustible para llegar a la temperatura deseada; solo nos queda saber cuál será el flujo másico del combustible

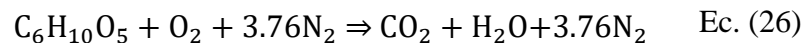
para poder determinar la cantidad de combustible que debe disponerse y debe ser consumida cada hora para satisfacer esta demanda, para esto se toma la energía demandada por la caldera y se divide entre la energía teórica del combustible y se obtiene

$$Q_u = 6049.79 \text{KJ/s} = 21779244 \text{kJ/h} \quad \text{Ec. (24)}$$

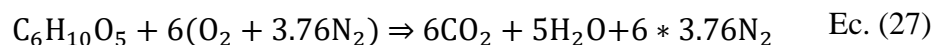
$$m_{\text{comb}} = \frac{21779244 \text{kJ/h}}{0.7 * 15175.57 \text{kJ/kg}} = 2050.21 \text{kg/h} \quad \text{Ec. (25)}$$

#### **4.3.5. Determinación de la relación aire combustible y reacción química de los elementos entrantes a la caldera**

De los pellets utilizados como combustible biomásico no se tiene la fórmula química, por lo tanto para este proyecto se asume que la fórmula química de los pellets utilizados son aproximados a la de la madera, de donde podemos balancear la siguiente ecuación química correspondiente a la combustión del combustible y el aire, tomando a la madera y al aire como sus respectivos elementos iniciales en el proceso de combustión que se realiza en presencia de los elementos iniciales y la presencia de una fuente de energía, esta reacción libera ciertos gases de combustión y energía; cabe destacar que en la siguiente ecuación química el valor de 3.76 es el estimado de N<sub>2</sub> por cada mol de O<sub>2</sub> presentes en el aire.



La reacción balanceada produce:



Con las fórmulas empíricas de los compuestos se puede hallar la relación de aire combustible

$$\frac{A}{C} = \frac{\left(6\text{kmol} * \frac{31.998\text{kg}}{\text{kmol}}\right) \text{O}_2 + \left(22.56\text{kmol} * \frac{28.014\text{kg}}{\text{kmol}}\right) \text{N}_2}{\left(6\text{kmol} * \frac{12.001\text{kg}}{\text{kmol}}\right) \text{C} + \left(10\text{kmol} * \frac{1.0076\text{kg}}{\text{kmol}}\right) \text{H} + \left(5\text{kmol} * \frac{15.99\text{kg}}{\text{kmol}}\right) \text{O}} \quad \text{Ec. (28)}$$

$$\frac{A}{C} = 5.074 \quad \text{Ec. (29)}$$

Esto quiere decir que, por cada kilogramo de pellets hacen falta 5.074kg de aire esta relación es netamente teórica, se asume que, la reacción de combustión opera en un 100% de su eficiencia, se sabe que, esto no es así, por lo tanto, se le agrega un porcentaje de aire del 20% para suplir la incombustión

$$\frac{A}{C} r = 6.088 \quad \text{Ec. (30)}$$

#### 4.3.5.1. Determinación del flujo de aire necesario

Como ya se tiene la relación aire combustible real en el proceso de combustión, ahora se puede decir que, el flujo de aire necesario viene dado por la siguiente ecuación

$$m_{air} = mc \left( \frac{A}{C} R \right) \quad \text{Ec. (31)}$$

$$m_{air} = 2050.21\text{kg/h}(6.088) = 12481.67\text{kg/h} \quad \text{Ec. (32)}$$

De la misma manera sabiendo el flujo masico de aire y combustible podemos determinar el flujo masico de los gases de la combustión

$$m_{gc} = m_c \left( 1 + \frac{A}{C} (1 + 0.2) \right) = 17028.22 \text{kg/h} \quad \text{Ec. (33)}$$

#### 4.3.6. Determinación de la temperatura de trabajo de la caldera

Esta temperatura es la alcanzada por la combustión suponiendo que no hay entrada y salida de calor ni trabajo en la cámara de combustión; en dicha cámara entran aire y combustible a temperatura ambiente, y en la salida se puede observar los productos procedentes de la combustión a la temperatura de trabajo, todo esto según lo planteado en la ecuación 34, sabiendo además que puede hacerse un balance de energía resultando en la ecuación 35 descomponiendo los términos de la ecuación 34

$$E_a + E_c = P_u + E_{pc} \quad \text{Ec. (34)}$$

$$\text{Ec. (35)}$$

$$m_a * C_{pa} * T_a + m_c * C_{pc} * T_c + m_c * p_{cc} = m_{pc} * C_{pc} * T_{pc} + Q_u$$

Adicionalmente, se dice que, las temperaturas iniciales son las temperaturas ambientales, al igual que, para las temperaturas de los elementos de entrada definidas en la tabla 25

**Tabla 25.** Valores de las variables del volumen de control en la caldera

Ma	Cpa	Ta	Mc	Cpc	Tc	Pcc
12481.67kg/h	1.0012Kj/kg°C	31°C	2050.21kg/h	2.3012kJ/kg°C	31°C	16484.96kJ/kg

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Para saber las propiedades termodinámicas de los productos de la combustión, se realiza la sumatoria de las concentraciones molares de las sustancias por las propiedades termodinámicas de dichas sustancias y así se obtiene el calor específico de todos los productos de la combustión

$$C_{ppc} = \sum c_i \cdot t_i \quad \text{Ec. (36)}$$

Siendo  $c_i$  la concentración molar de dichas sustancias que se calcula mediante la siguiente ecuación

$$C_{ppc} = \frac{\text{moles de la sustancia}}{\text{moles de los productos}} \quad \text{Ec. (37)}$$

**Tabla 26.** Productos de la combustión, valores porcentuales y sus propiedades termodinámicas

Porcentaje de concentración molar de los productos de la combustión	
CO <sub>2</sub>	0.1787
H <sub>2</sub> O	0.1489
N <sub>2</sub>	0.6722
Calor específico a presión constante de los elementos de la combustión	
CO <sub>2</sub>	836
H <sub>2</sub> O	4.180
N <sub>2</sub>	1040
Calor específico de los productos de la combustión según su cantidad porcentual	
CO <sub>2</sub>	149.39332
H <sub>2</sub> O	0.6224
N <sub>2</sub>	699.088

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Para la determinación de la temperatura de llama adiabática según la ecuación de balance masa - energía planteada anteriormente, se despeja la temperatura de los gases

de combustión y de esta manera se realiza un proceso iterativo con los datos suministrados basándose en las tablas termodinámicas del anexo F, G, H e I de los diferentes productos de la combustión de manera que el proceso iterativo para la determinación de la temperatura esta resumido en la tabla 27

**Tabla 27.** Proceso iterativo para la determinación de la temperatura de la llama adiabática de la caldera

T(asumida)(°K)	Cp (kJ/kg°K)	T Calculada (°K)	Error
500	35914.19	955.9252236	-455.925
1000	39630.97	866.2741005	133.7259
900	38887.61	882.8333457	17.16665
800	38144.26	900.0380041	-100.038
885.3187	38778.48	885.3179027	0.000797
885.31805	38778.47	885.318013	3.7E-05

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

De esta manera se sabe que, la temperatura de los gases de la combustión es la temperatura de operación de la caldera siendo esta 885.31805 °K o 612 °C

#### 4.3.7 Establecimiento de la Presión de trabajo de la caldera

Consultando textos bibliográficos como la página web “bibdigital.epn.edu.ec”, las calderas de baja presión operan en un rango de 35 a 145 Psi, para la temperatura solicitada es necesario que la caldera opere por seguridad a una presión máxima de 150 Psi, lo que significa que con este valor equivalente a unos 1034.21kPa y la presión será la ya descrita 101.3kPa entonces la presión de trabajo resulta ser

$$P_t = P_{manometrica} + P_{atmosferica} \quad \text{Ec. (38)}$$

$$P_t = 1034.21\text{kPa} + 101.3\text{kPa} = 1135.51\text{Kpa} \quad \text{Ec. (39)}$$

#### 4.3.8 Dimensionamiento de la cámara de combustión

Para las dimensiones de la cámara de combustión se utiliza elementos ya calculados, como el flujo másico del combustible y el poder calorífico de los pellets como combustible biomásico, adicionalmente se tiene como dato el coeficiente de liberación de calor por metro cubico de pellets, según la bibliografía consultada en la página web “smart-unit-converter.com” esto permite saber el calor en un volumen determinado por el flujo másico del combustible y su poder calorífico, de esta manera el volumen de la cámara de combustión se puede apreciar en la Ec. 40

$$V_{cc} = \frac{m_c * p_{cp}}{c_{lcp}} \quad \text{Ec. (40)}$$

Siendo

$m_c$ : Flujo másico de combustible

$p_{cp}$ : Poder calorífico del combustible

$c_{lcp}$ : Coeficiente de liberación de calor del combustible

$$V_{cc} = \frac{2050.21 \text{kg/h} * 16484.96 \text{kJ/kg}}{12153600 \text{kJ/h. m}^3} = 2.78 \text{m}^3 \quad \text{Ec. (41)}$$

Por consideraciones de comodidad, la cámara de combustión toma la forma de medio cilindro; calculando según la ecuación de volumen de un cilindro un largo apropiado que coincida con las demás consideraciones de diseño y normas

Siendo la ecuación de volumen de un cilindro

$$V_c = \pi r^2 h \quad \text{Ec. (42)}$$

Asumiendo los valores para que la altura coincida con las otras longitudes más adelante explicadas a detalle de la caldera y un diámetro apropiado se obtiene en la tabla 28 todos los parámetros para el volumen del cilindro que se consideraron

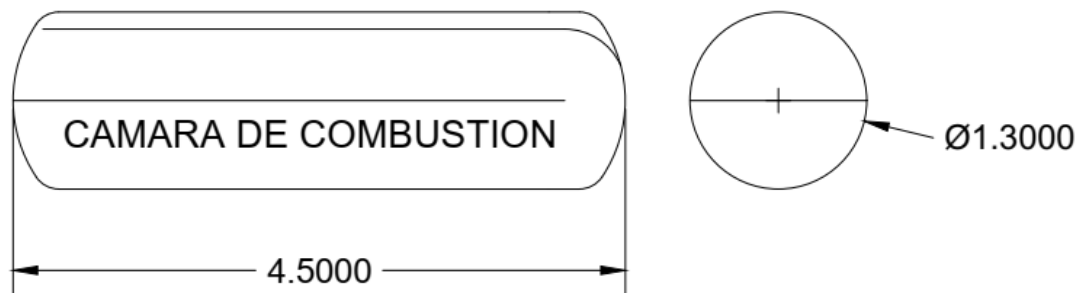
**Tabla 28.** Parámetros para el volumen de la cámara de combustión

V	H	R
5.972953	4.5	0.65

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Como se explica anteriormente, el cilindro es solo la mitad por la consideración del diseño, así que, dividiendo el resultado del volumen entre 2 se tiene el volumen resultante de que también puede ser apreciado en la forma conceptual ver figura 23:

$$V_c = 2.98\text{m}^3 \quad \text{Ec. (43)}$$



**Figura 23.** Dimensiones de la cámara de combustión

Fuente: Estraño y Serrano

#### 4.3.9 Diseño de encendedor de combustible

El encendedor del combustible es un elemento constituido por una resistencia eléctrica que está a un nivel de altura determinado en la cámara de combustión, permitiendo mediante el calentamiento del combustible a la temperatura de combustión de los pellets (400°C), tomando como consideración su composición química similar a

la madera según fuentes bibliográficas citadas en la página web “habic.eus” al proporcionar la exposición de energía de este elemento para iniciar el proceso de combustión de los pellets conjunto al comburente que es el aire contenido en la cámara de combustión donde se encuentra, se obtiene que, se produce ignición del combustible que es el fin deseado de este elemento, para diseñar este elemento se escoge cobre como elemento resistor y sabiendo la temperatura de ignición de los pellets se escoge un factor de mayoración de esta temperatura de 1.5 lo que significa que la temperatura a la que operará el elemento encendedor o resistencia para logra una ignición más rápida en el combustible será de 600°C

Con este valor se procede a aplicar la ecuación para encontrar la resistividad de dicho material a la temperatura de trabajo

$$\rho_e = \rho_{@20} + \rho_{20} * \alpha(T - 20^{\circ}\text{C}) \quad \text{Ec. (44)}$$

Siendo:

$\rho_e$ : Resistividad a la temperatura de trabajo

$\rho_{@20}$ : Resistividad a 20°C

$\alpha$ : Coeficiente de Temperatura

T: Temperatura de trabajo

La resistividad y el coeficiente para 20°C del cobre y otros materiales se encuentra en el Anexo O

$$\rho_e = 1.7 \times 10^{-8} + 1.7 \times 10^{-8} * 3.9 \times 10^{-3} * (600^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) \quad \text{Ec. (44)}$$

$$\rho_e = 5.54 \times 10^{-8} \Omega\text{m}^2 \quad \text{Ec. (45)}$$

Con esto se obtiene que la resistividad del cobre es del valor mencionado, como este encendedor debe operar en la cámara de combustión, sabiendo el radio de la misma establecemos un perímetro por el encendedor de un cuarto de circunferencia, el perímetro deseado es

$$Pe = \frac{\pi}{2}r \quad \text{Ec. (46)}$$

$$Pe = \frac{\pi}{2}0.65\text{m} = 1\text{m} \quad \text{Ec. (47)}$$

Siendo la longitud de 1m calculando un cilindro de un metro de longitud y 2cm de diámetro

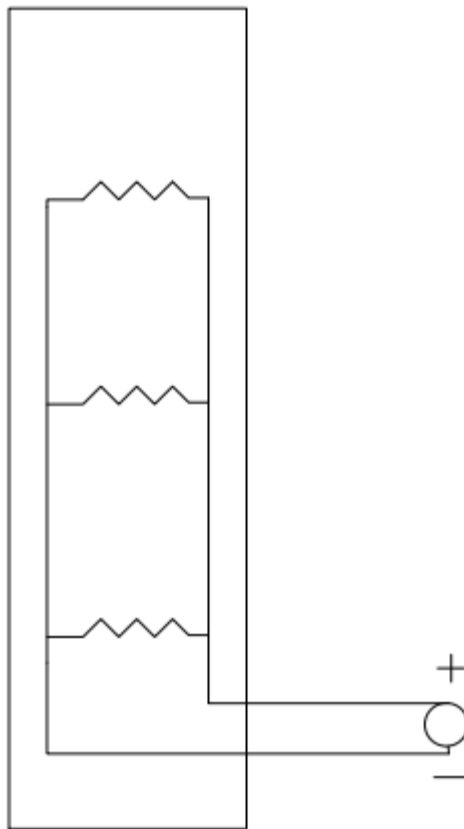
$$R = \rho e \frac{L}{A} \quad \text{Ec. (48)}$$

$$R = \rho e \frac{L}{\pi * r^2} \quad \text{Ec. (49)}$$

$$R = 5.54 \times 10^{-8} \Omega \text{m}^2 \frac{1\text{m}}{\pi * 0.01\text{m}^2} \quad \text{Ec. (50)}$$

$$R = 1.76 \times 10^{-4} \Omega \text{m} \quad \text{Ec. (51)}$$

Y usando la relación entre el voltaje corriente y resistencia se obtiene para un voltaje de 50V la corriente que debe aportarse en un circuito para actuar como material encendedor



**Figura 24.** Esquema del circuito de los encendedores situados en la coraza de la caldera  
Fuente Estraño y Serrano

$$\frac{V}{R} = I \quad \text{Ec. (52)}$$

$$I = v\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) \quad \text{Ec. (53)}$$

$$I = 50v\left(\frac{1}{1.76 \times 10^{-4}} + \frac{1}{1.76 \times 10^{-4}} + \frac{1}{1.76 \times 10^{-4}}\right) = 852\text{mA} \quad \text{Ec. (54)}$$

#### 4.3.10 Diseño de tanques de almacenamiento del combustible

Se asume que, el funcionamiento es necesario durante cuatro horas, el tiempo medio que se producen los cortes de energía eléctrica en el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, por lo que los tanques a diseñar deben tener el combustible necesario para satisfacer las cuatro horas estimadas de uso continuo de la caldera, por lo tanto, con lo ya calculado se tiene que para un funcionamiento de una hora se consumen 2050.21g de pellets, para que funcione la caldera durante cuatro horas necesitaríamos 8200.84 kg o lo mismo que 8.2 Toneladas; como se sabe, la cámara de combustión ocupa  $\frac{1}{4}$  de esta cantidad, entonces el tanque o elementos contenedores de combustible, deben estar diseñados para contener  $\frac{3}{4}$  de la cantidad ya antes mencionada, lo que quiere decir 6150.63kg, ahora usando la densidad se encuentra el volumen indicado para los tanques de almacenamiento. La densidad del combustible (pellets) según datos de bibliografía consultada en la página web “www.cointra.es”, puede ser de 680 y 720 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), por lo tanto, se toma una estimación basada en la media de estos dos valores que es  $715 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$V_{\text{tan}} = \frac{6150.63\text{kg}}{715\text{kg}/\text{m}^3} = 8.6\text{m}^3 \quad \text{Ec. (55)}$$

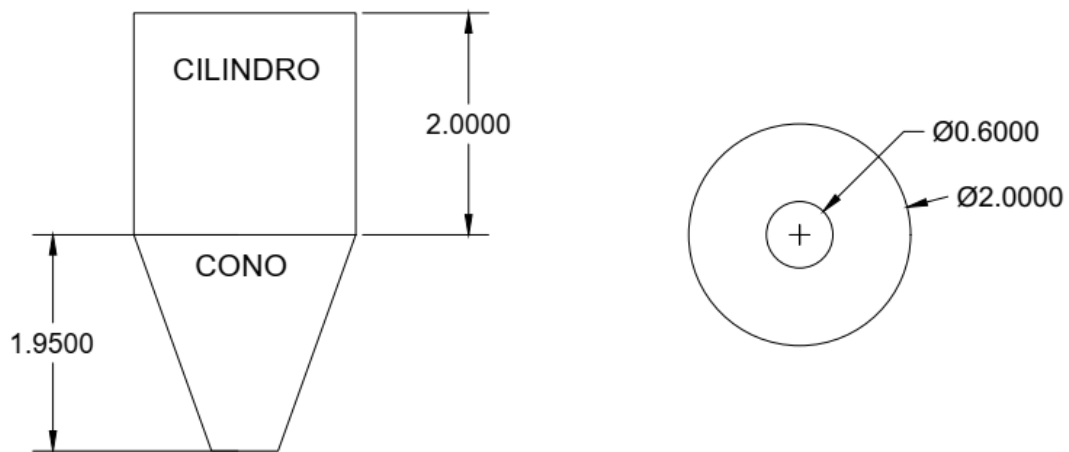
Por lo tanto, se escoge la forma de cilindro y de cono truncado para poder facilitar el vaciado de estos tanques teniendo como parámetros los valores establecidos en la tabla 29 y su forma está esquematizada en la figura 25

**Tabla 29.** Parámetros para el volumen de los tanques de combustible

Cono truncado inverso			
V( $\text{m}^3$ )	Altura(m)	radio1(m)	radio2(m)
2.394286	1.95	0.15	1

Cilindro		
$V(m^3)$	H(m)	R(m)
6.283185	2	1
Volumen total ( $m^3$ )		
<b>V</b>	8.677	

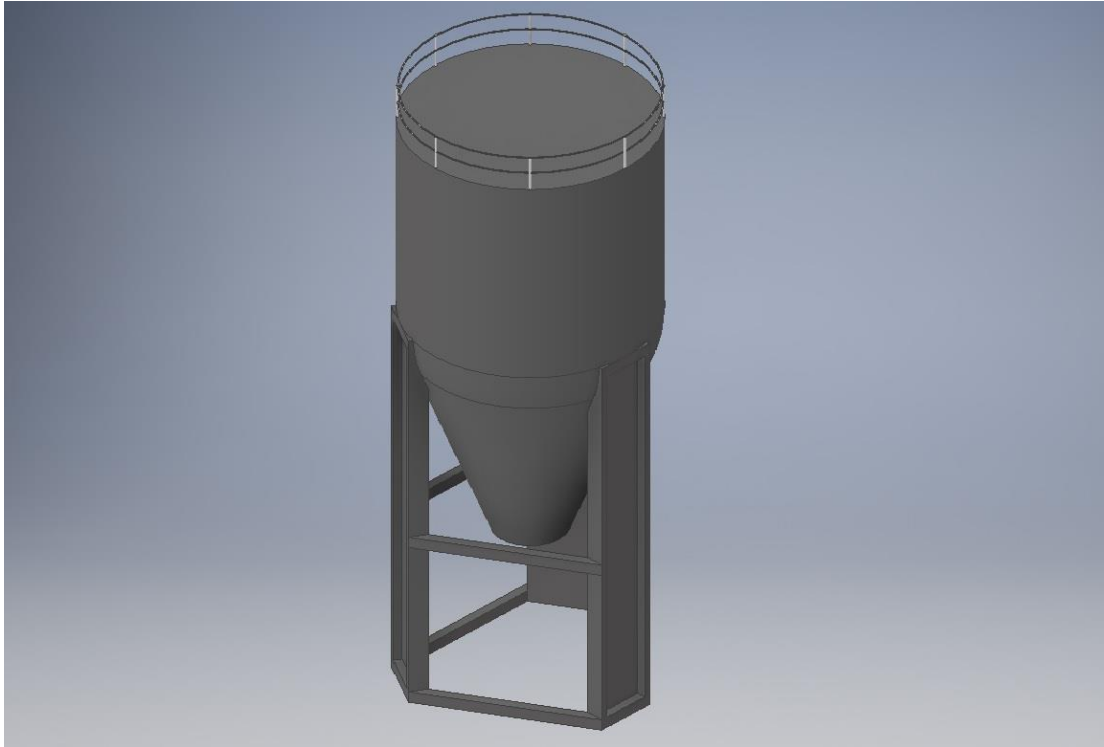
Fuente: Estraño y Serrano (2021)



**Figura 25.** Medidas del tanque de combustible

Fuente: Estraño y Serrano

Mediante el software “Inventor” se diseña el tanque que contiene los pellets para surtir de acuerdo a la demanda, a la caldera con las medidas apropiadas, los resultados del diseño de las medidas, se aprecia en la figura 26



**Figura 26.** Tanque de combustible elaborado en Inventor  
Fuente: Estraño y Serrano

#### **4.3.11 Diseño de Intercambiador de calor para la caldera:**

Una vez que se llega al diseño del intercambiador de calor y sus dimensiones, se puede decir que, hay ya una serie de datos iniciales a considerar en el diseño que pueden ser resumidos en la tabla 30:

**Tabla 30.** Consideraciones iniciales de diseño del intercambiador de calor

Flujo másico de vapor-agua	1.9kg/s	
Temperatura del agua a la entrada de la caldera	30.41°C	
Temperatura del vapor a la salida de la caldera	450°C	
Presión de operación de la caldera	1Mpa	
Temperatura de operación de la caldera	600°C	
Flujo Másico de gases de la caldera	5.04kg/s	
Densidad del agua a 30.41°C	kg/m <sup>3</sup>	
Espesor de la tubería	3mm	
Salto Térmico	419.59°C	
Características de los fluidos de trabajo		
	Fluido (agua)	Fluido (Aire@600°)
Cp: Calor específico a presión constante (kJ kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> )	4,178	1,121
k: Conductividad térmica del fluido (kJ s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> )	0,000628	0,0000628
ρ: Densidad del fluido (kg m <sup>-3</sup> )	995.5	4,03
μ: Viscosidad dinámica (kg s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	0,000798	0,00003899

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Primero se calcula el calor que debe aportar mediante convección por unidad de tiempo para ello

$$\frac{dQ}{dt} = m * CE * (T_{salida} - T_{entrada}) \quad \text{Ec. (56)}$$

Siendo

$\frac{dQ}{dt}$ : Transferencia de calor por unidad de tiempo

m: Flujo másico del fluido a calentar

CE: Capacidad calorífica del agua

Una vez con los datos de partida se puede determinar la transferencia de calor por unidad de tiempo necesaria para la tubería que vendría dada por la ecuación 57

$$\frac{dQ}{dt} = 1.9\text{kg/s} * 4.178\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} * (450^\circ\text{C} - 30.41^\circ\text{C}) = 3330.78\text{kJ/s}$$

Ec. (57)

Una vez hecho esto, de acuerdo a los fluidos que circula por la cámara de vapor y la tubería de fluidos a calentar entonces se puede determinar los diámetros de las mismas

#### **4.3.11.1. Determinación de los diámetros de las tuberías que contienen ambos fluidos del intercambiador de calor**

Primero se asume una velocidad de fluidos de 1.67 m/s, la razón por la que se escoge esta velocidad, es porque permite que el fluido no desgaste las tuberías por velocidad excesiva que produzca roce, la cual la máxima es de 3m/s (véase velocidades aceptables disponible en: [HU4.8-03.pdf \(uam.mx\)](#))

Entonces, se determina el caudal sabiendo el flujo másico y la densidad del agua, conociendo la densidad del agua a 30.41°C es de 995.5

$$C_v = \frac{m}{\rho} = \frac{1.9\text{kg/s}}{995.5\text{kg/m}^3} = 1.908 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s} \quad \text{Ec. (58)}$$

Con la velocidad asumida se tiene que:

$$C = A * v = \frac{\pi * d_{int}^2}{4} * v \quad \text{Ec. (59)}$$

Siendo:

C: Caudal

A: Área transversal

*dint*: Diámetro interno de la tubería

v: Velocidad

$$C = \frac{\pi * dint^2}{4} \quad \text{Ec. (60)}$$

De la ecuación 60 se despeja el diámetro interno y lo demás lo conocemos resultando

$$dint = \sqrt{\frac{(C * 4)}{v * \pi}} \quad \text{Ec. (61)}$$

$$dint = \sqrt{\frac{(1.9028 * 10^{-3} \text{m}^3/\text{s} * 4)}{1.67 \text{m/s} * \pi}} = 0.0381 \text{m} = 3.81 \text{cm} \quad \text{Ec. (62)}$$

Para el cálculo del diámetro en el espacio de la cámara de vapor se asume una velocidad de  $v=27\text{m/s}$  y se considera el caudal dado por la densidad de los gases

$$Cv = \frac{m}{\rho} = \frac{5.04 \text{kg/s}}{4.03 \text{kg/m}^3} = 1.2506 \text{m}^3/\text{s} \quad \text{Ec. (63)}$$

$$C = A * v = \left( \frac{\pi * dintai^2}{4} - \frac{\pi * dintag^2}{4} \right) * v \quad \text{Ec. (64)}$$

Ec. (65)

$$d_{Air} = \sqrt{\frac{4 \cdot c}{v \cdot \pi} + d_{int}^2}$$

$$d_{Air} = \sqrt{\frac{4 * 1.2506 \text{m}^3/\text{s}}{27 \text{m}/\text{s} * \pi} + 0.0381^2} = 0.25 \text{m} = 25 \text{cm} \quad \text{Ec. (66)}$$

Luego de tener los diámetros pertenecientes a la cámara de vapor y el de la tubería, se puede diseñar según el funcionamiento de convección de la caldera para poder encontrar el coeficiente global de transferencia de calor dado en el intercambiador de calor, para ello, el primer paso es determinar el régimen de los fluidos, es decir, si el fluido circulante por las tuberías agua-vapor y por el intercambiador está en régimen laminar o turbulento, usaremos el Coeficiente de Reynolds y el Número de Prandtl que nos permite determinar el flujo para ambas áreas

#### 4.3.11.2 Determinando el Número de Nusselt

$$Nu = \frac{D * H_p}{K_{fluido}} \quad \text{Ec. (67)}$$

Siendo:

Nu: Número de Nusselt

d: Diámetro

kf: Conductividad térmica del fluido

#### 4.3.11.3 Determinando Coeficiente de Reynolds

$$RE_{agua} = \frac{v_{agua} * \rho * d_{int}}{\mu} \quad \text{Ec. (68)}$$

Siendo:

RE: Coeficiente de Reynolds

$\rho$ : Densidad

v: Velocidad de circulación del fluido

d: Diámetro

u: Viscosidad cinemática

$$RE_{\text{agua}} = \frac{1.67\text{m/s} \cdot 995.5\text{kg/m}^3 \cdot 0.0381\text{m}}{0.000798\text{kg/s.m}} = 107487.7 \quad \text{Ec. (69)}$$

$$RE_{\text{aire}} = \frac{27\text{m/s} \cdot 4.03\text{kg/m}^3 \cdot 0.250\text{m}}{0.00003899\text{kg/s.m}} = 698213.7 \quad \text{Ec. (70)}$$

#### 4.3.11.4 Determinando Número de Prandtl

$$Pr = \frac{u \cdot c_p}{k_{\text{fluido}}} \quad \text{Ec. (71)}$$

Siendo

Pr: Número de Prandtl

u: Viscosidad cinemática del fluido

$c_p$ : Calor específico a presión constante del fluido

$k_f$ : Conductividad térmica del fluido

$$Pr_{\text{agua}} = \frac{0.00059\text{kg/s.m} \cdot 4.178\text{kJ/kg}^\circ\text{C}}{0.000628\text{kJ/m.s}^\circ\text{C}} = 3.9 \quad \text{Ec. (72)}$$

Ec. (73)

$$Pr_{air} = \frac{0.00003899 \text{kg/s.m} * 1.121 \text{kJ/kg}^\circ\text{C}}{0.0000628 \text{kJ/m.s}^\circ\text{C}} = 0.7$$

Para ambos casos se encuentran en un régimen turbulento y se usa paredes cilíndricas, por lo tanto, la ecuación a utilizar será

$$Nu_{agua} = 0.023 * (PR^{0.4}) * (RE^{0.8}) \quad \text{Ec. (74)}$$

$$Nu_{agua} = 0.023 * (3.9^{0.4}) * (107487.7^{0.8}) = 366.55 \quad \text{Ec. (75)}$$

$$Nu_{air} = 0.023 * (0.7^{0.3}) * (698213.6533^{0.8}) = 978.245 \quad \text{Ec. (76)}$$

#### 4.3.11.5 Determinación de Coeficientes de convección o de película

$$C_{peAgua} = \frac{Nu * k}{d_{int}} \quad \text{Ec. (77)}$$

Siendo:

*C<sub>pe</sub>*: Coeficiente de película

Nu: Número de Nusselt

k: Conductividad térmica del flujo

*d<sub>int</sub>*: Diámetro interno

$$C_{peAgua} = \frac{366.55 * 0.000628 \text{kJ/m.s}^\circ\text{C}}{0.0381 \text{m}} = 4.73 \text{kJ/s}^\circ\text{C} \quad \text{Ec. (78)}$$

$$C_{peAir} = \frac{978.245 * 0.000628 \text{kJ/m.s}^\circ\text{C}}{0.250 \text{m}} = 0.245547 \text{kJ/s}^\circ\text{C} \quad \text{Ec. (79)}$$

#### 4.3.11.6 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor

$$C_{gtc} = \frac{1}{Dr \left( \frac{1}{c_{peagua} \cdot D_{int}} + \ln \left( \frac{D_{ext}}{D_{int}} \right) + \frac{1}{c_{peair} \cdot D_{ext}} \right)} \quad \text{Ec. (80)}$$

Siendo:

$$Dr = 0.0381\text{m} \quad \text{Ec. (81)}$$

Y

$$\ln \left( \frac{D_{ext}}{D_{int}} \right) = 0 \quad \text{Ec. (82)}$$

$$C_{gtc} = \frac{1}{0.0381\text{m} \left( \frac{1}{4.73\text{kJ/m}\cdot\text{s}^\circ\text{C} \cdot 0.0381\text{m}} + \frac{1}{0.25\text{m} \cdot 0.24\text{kJ/m}\cdot\text{s}^\circ\text{C}} \right)} = 1.20\text{kw/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Ec. (83)}$$

#### 4.3.11.7 Determinación de la longitud

$$L = 3330.7\text{kJ/s} \left( \frac{1}{1.20\text{kw/m}^2\text{ }^\circ\text{C} * \pi * 0.0381\text{m} * (450^\circ\text{C} - 30.41^\circ\text{C})} \right) = 55.10\text{m} \quad \text{Ec. (84)}$$

Con estos cálculos se realiza un proceso de iteración manteniendo las mismas propiedades y dimensiones en las tuberías de agua, solo se realizan cambios en los diámetros y la velocidad del flujo de gases, los resultados pueden observarse en la tabla

31

**Tabla 31.** Iteración de valores para el intercambiador de calor

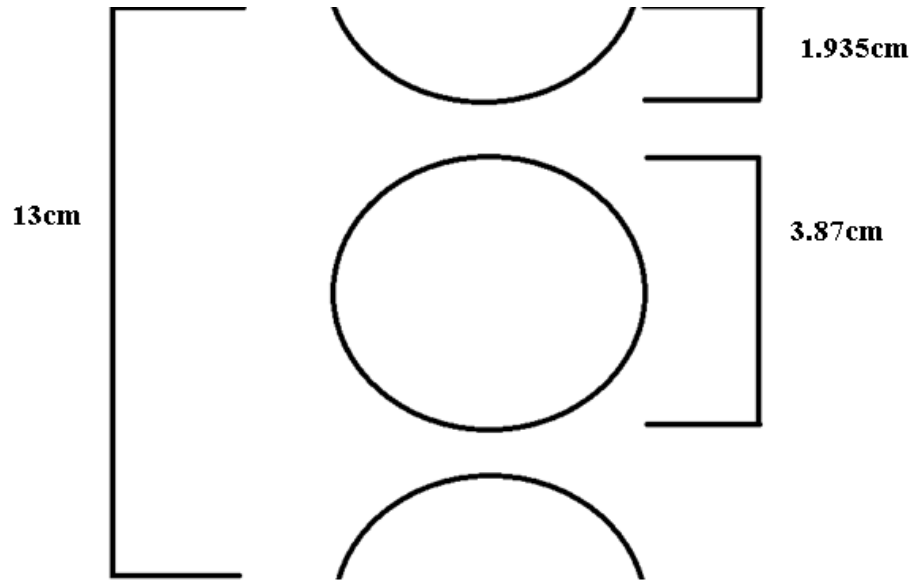
Dext(m)	RE	UN	CPE(kJ/Kg)	Cg <sub>tc</sub> (kW/m <sup>2</sup> °C)	L(m)	V(m/s)
0.250192	698213.7	978.2456	0.245547	1.20202	55.10692	27
0.288543	596474.8	862.444	0.187707	1.09253	60.62957	20
0.40367	417233.1	647.978	0.100808	0.870764	76.07068	10
0.480893	347935.1	560.3454	0.087174	0.892104	74.25104	7

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Del proceso iterativo mostrado en la tabla 31, se escoge por comodidad y consideración de la manufactura, costos y coherencia con las normas, se escoge el diámetro de 48.08cm y velocidad de 7m/s.

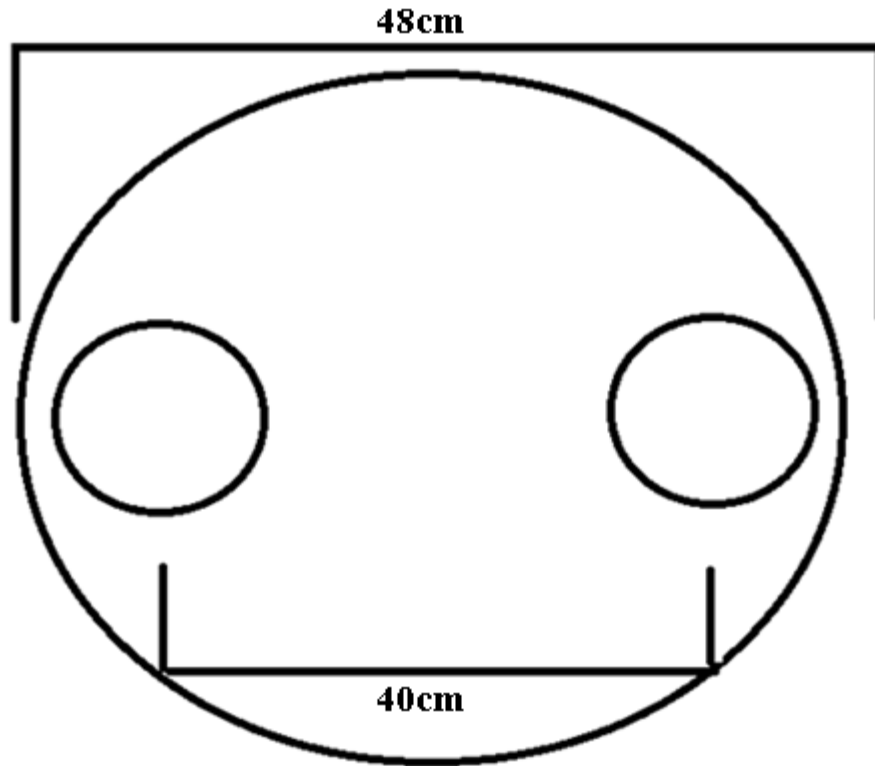
#### **4.3.11.8 Determinación de medidas adecuadas y arreglo del serpentín**

Por lo tanto, la longitud de la tubería debe de ser de 74.25 m según lo estipulado en la tabla 32, dicha longitud del tubo de agua del intercambiador de calor es la necesaria para poder generar la transferencia de calor suficiente que hace que el agua llegue a su estado de temperatura deseado, en el diseño planteado las paredes son cilíndricas y el tubo de agua debe tener forma helicoidal, por lo tanto, se toma la ecuación de un hélice helicoidal, y según sus parámetros y las dimensiones según la tabla 32 se considera, según la configuración establecida el dimensionamiento adecuado para que la hélice helicoidal pueda establecerse en los parámetros deseados, de esta manera, se dice que, para comodidad la longitud deseada está establecida entre dos hélices entrelazadas, como lo indica la figura 27.



**Figura 27.** Vista de la sección del arreglo de tuberías  
Fuente: Estraño y Serrano

De esta manera, también se puede ver la vista de plano del intercambiador para comprobar que las dimensiones son las correctas.



**Figura 28.** Vista de plano del intercambiador de calor  
Fuente: Estraño y Serrano

Mediante la configuración geométrica de una hélice cilíndrica también se debe calcular el largo total y el número de vueltas según las dimensiones dadas, dichos cálculos pueden observarse en la ecuación 85 que indica cuantas vueltas necesita el serpentín para completar la longitud deseada (ver tabla 32)

**Tabla 32.** Parámetros del Serpentín Helicoidal

L	H	R
1.264699	0.13	0.20

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

Donde L es la longitud de desarrollo, r el radio y h la altura, si se divide la longitud deseada entre la longitud de desarrollo se obtiene el número de vueltas necesarias para poder obtener esa longitud

$$n = \frac{74.25}{1.264699*2} = 29.35 \quad \text{Ec. (85)}$$

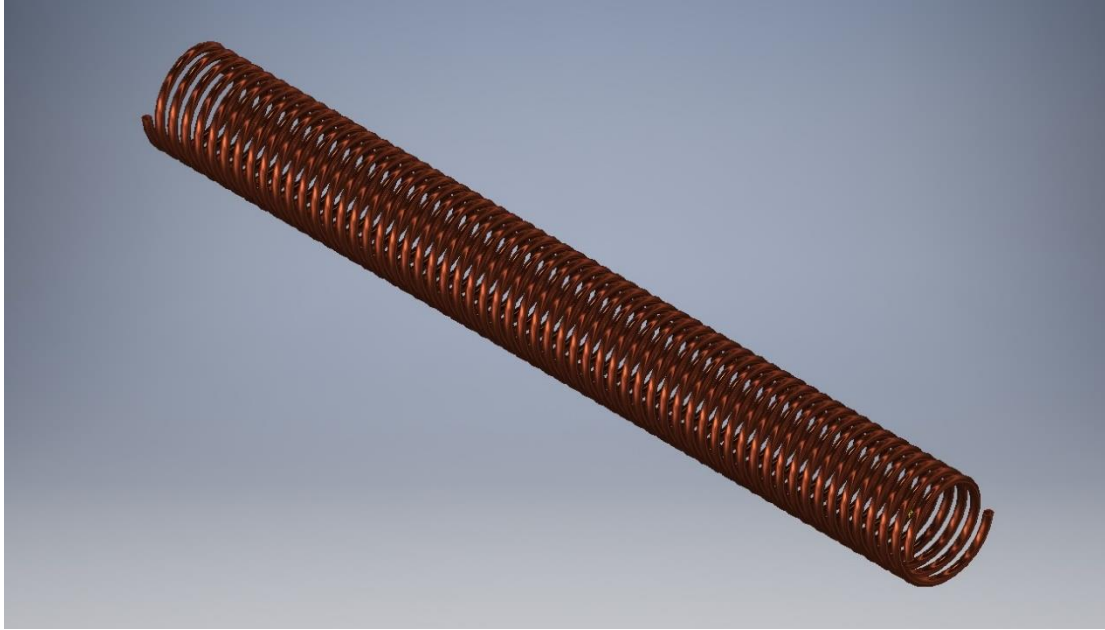
La ecuación 85 indica que el número de vueltas o espiras son 29.5 vueltas a la espira para obtener la dimensión de longitud completa de los tubos de agua y el intercambiador entonces se multiplica por 29.5 los valores de longitud y altura

**Tabla 33.** Longitud total de desarrollo del serpentín helicoidal

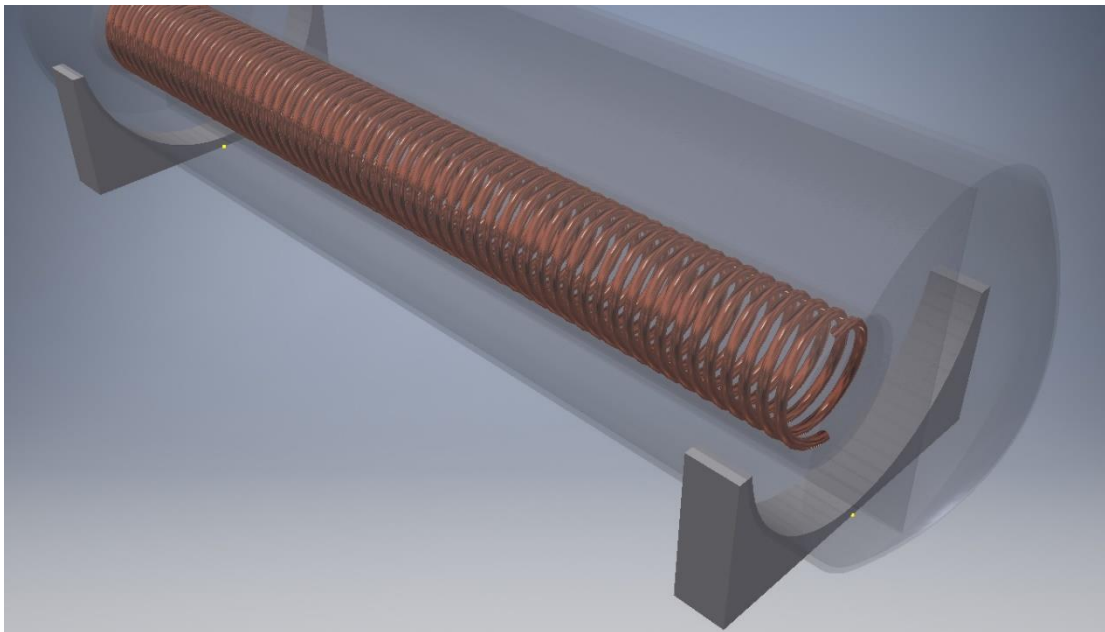
L	H	R
37.3	3.835	0.20
	L	
Primera tubería	37.3.	
Segunda tubería	37.3	
Longitud total	74.6	

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

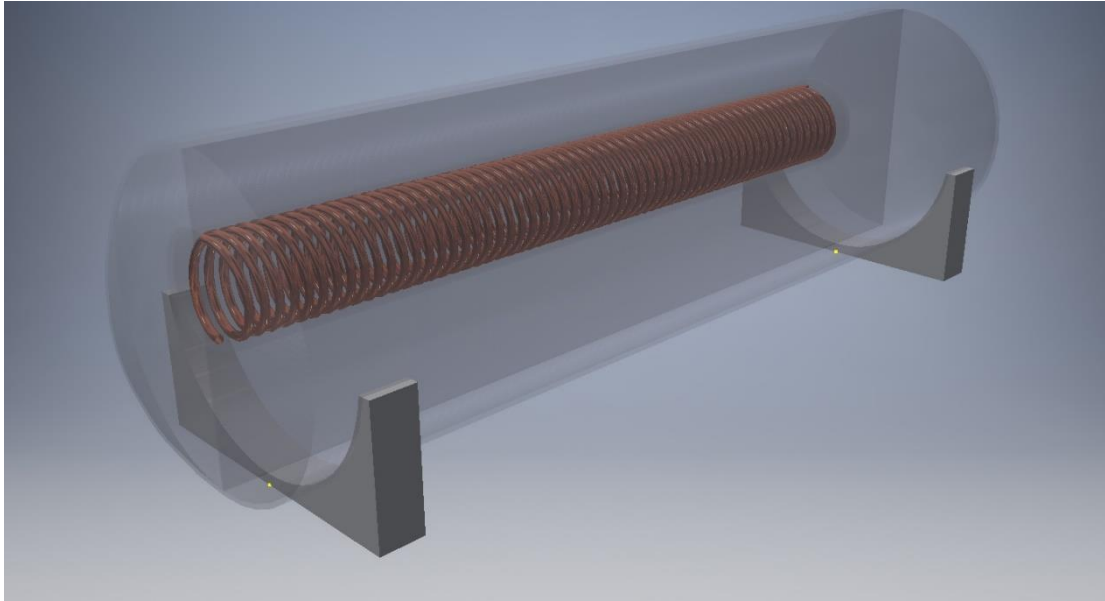
Mediante el software “Inventor” se diseñan los tubos del serpentín del intercambiador de calor al igual que su simulación con una fuerza que simula la presión de trabajo en la cara interior de los tubos del serpentín, los resultados del diseño de las medidas y la simulación realizada, pueden ser apreciados desde la figura 29 hasta la 32



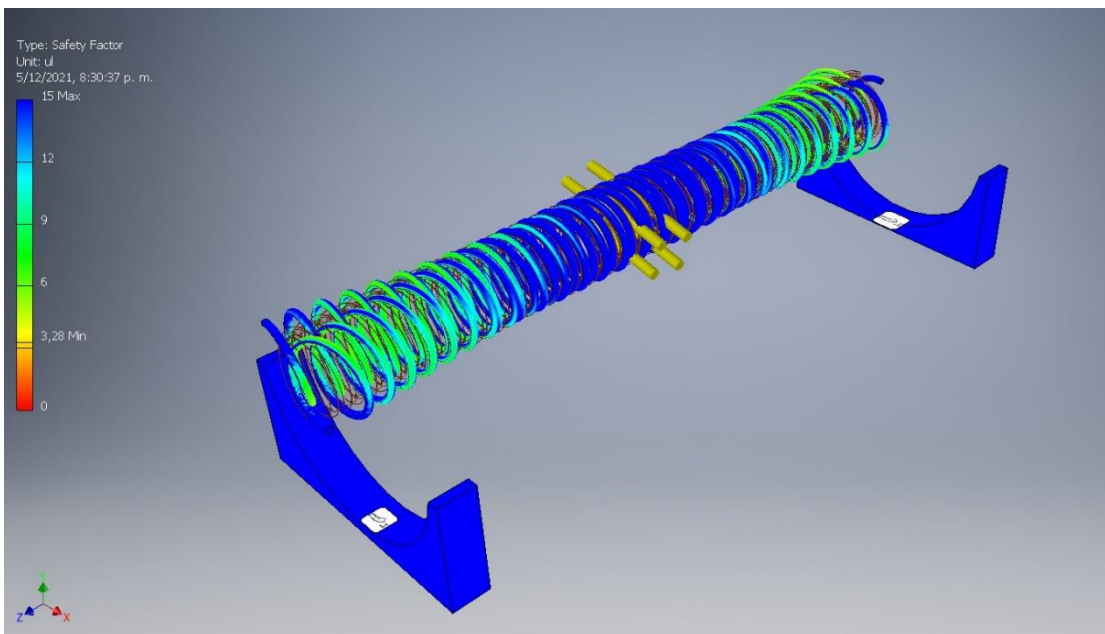
**Figura 29.** Vista del Serpentín del Intercambiador de Calor  
Fuente: Estraño y Serrano



**Figura 30.** Vista del Serpentín del Intercambiador de Calor situado en la Caldera  
Fuente: Estraño y Serrano



**Figura 31.** Vista del Serpentin dentro de la Caldera  
Fuente: Estraño y Serrano



**Figura 32.** Simulación de la presión de trabajo en el Serpentin  
Fuente: Estraño y Serrano

#### 4.3.12 Diseño de recipiente a presión de la caldera

Según la norma citada de ASME (Código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión sección VIII) la presión de diseño viene dada por la presión manométrica según la siguiente ecuación 86

$$P = 1.5P_o \text{ Si } P_o < 300\text{Psi} \quad \text{Ec. (86)}$$

$$P = P_o + 30\text{psi} \text{ Si } P_o \leq 300\text{Psi} \quad \text{Ec. (87)}$$

Como la presión de trabajo manométrica está definida en 150 psi, entonces la presión del diseño viene establecida por la primera ecuación siendo entonces esta:

$$P = 1.5(150) = 225\text{Psi} \quad \text{Ec. (88)}$$

Para el diseño de la coraza de la caldera el mismo código a utilizar en esta sección de diseño establece un listado limitado de materiales a utilizarse, el código ASME, Sección II, indica esta lista de materiales a utilizarse, en su Parte D, en las tablas A1 y B1 tomando en cuenta la temperatura de operación y el esfuerzo de fluencia a dicha temperatura como puede observarse en las tablas del anexo L pertenecientes a la norma ASME mencionada, se selecciona para la temperatura trabajo de acuerdo a esta norma el acero ASTM A387 grado 91, la tabla 34 muestra la composición química y propiedades mecánicas de este material, siendo la ecuación establecida para calcular el espesor de la coraza (Ver ecuación 89)

**Tabla 34.** Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A387

Composición química						
C	Si	MN	P	S	CR	Mo
0.08-0.12	0.2-0.6	0.3-0.6	0.002	0.01	0.8-9.5	0.8-1.1
Fuerza de producción mínima (MPa)		Resistencia a la tracción (MPa)		Elongación mínima% 50mm		
60(415)		585-760		18		

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

$$t = \frac{PR}{SE - (1 - y)P} + C \quad \text{Ec. (89)}$$

Donde:

t: Espesor del casco

P: Presión de diseño

R: Radio interno

S: Esfuerzo de fluencia relacionado a la temperatura de trabajo según la norma

E: Eficiencia de junta soldada

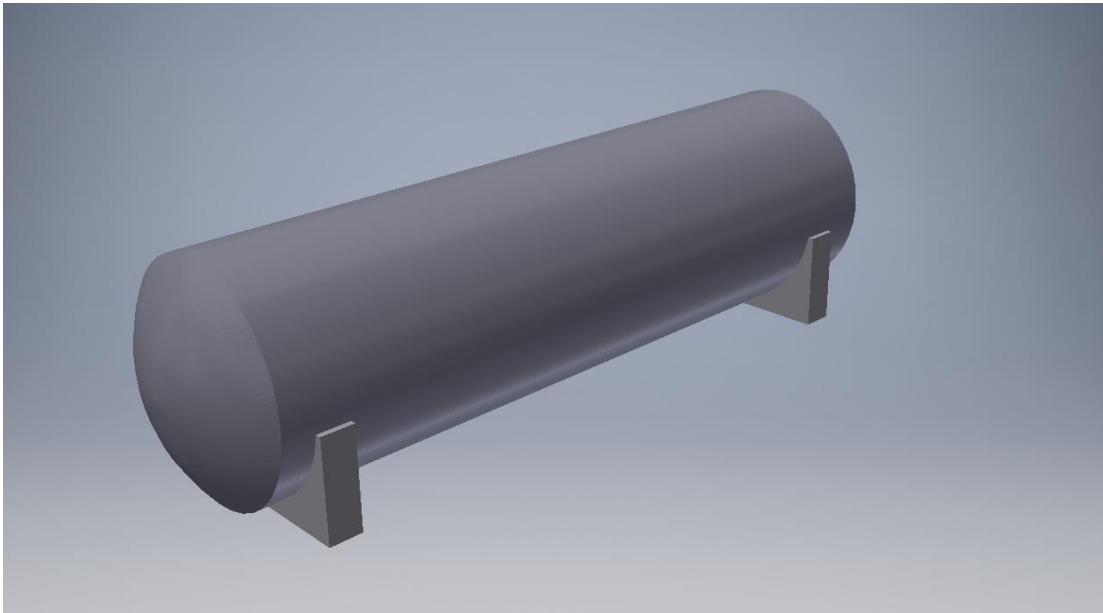
y: Coeficiente térmico

c: Espesor por corrosión

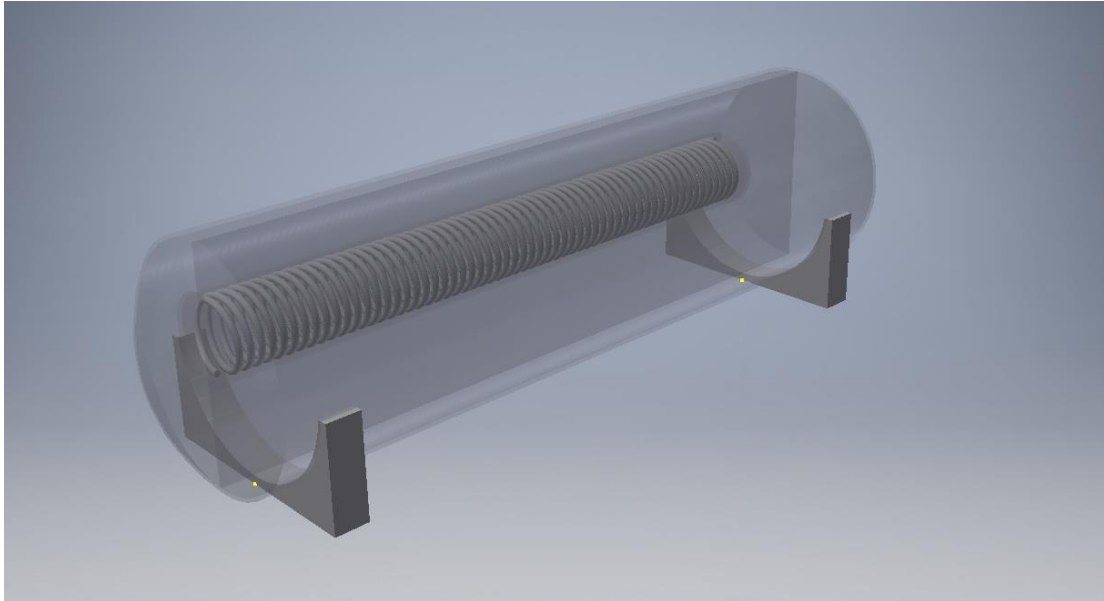
El esfuerzo máximo admisible a la temperatura de trabajo es de 54.3 Mpa de esta manera para la coraza y el intercambiador de calor se calcula el espesor en pulgadas

$$tcb = \frac{(225\text{Psi})(25.59\text{in})}{(7875.549\text{Psi}) - (1 - 0.4)225\text{Psi}} + \frac{1}{8}\text{in} = 0.868\text{in} \quad \text{Ec. (90)}$$

Dado a que ya se cubren con la mayoría de las partes para el diseño, mediante el software “Inventor” se realiza el diseño de la caldera según las medidas ya especificadas, los resultados del diseño en el programa pueden ser apreciados en las figuras 33 y 34



**Figura 33.** Diseño con Inventor de la Caldera  
Fuente: Estraño y Serrano



**Figura 34.** Vista de los componentes internos de la Caldera

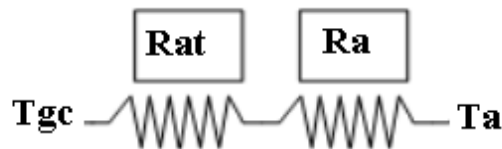
Fuente: Estraño y Serrano

#### 4.3.13 Selección del aislante necesario

Para calcular y seleccionar el material aislante alrededor de la caldera, se conoce la temperatura ambiente que es de 31°C y la temperatura de los gases de combustión dirigidos a la cámara de gases del intercambiador de calor, con estas dos temperaturas se procede a plantear a un espesor de 2" que es un diámetro comercial y junto a la temperatura de trabajo, se selecciona el material adecuado para el material aislante, tomando en cuenta el método de la resistencias térmicas equivalentes a la del aire y el aislante térmico entonces con la diferencia de la temperatura de trabajo calcularíamos la pérdida que se genera alrededor de la caldera por el aislante siendo está determinada por la siguiente ecuación

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{eq}} \quad \text{Ec. (91)}$$

Para calcular la resistencia equivalente, se considera la resistencia térmica del aislante a la temperatura de trabajo de la caldera y la resistencia térmica del aire fuera de la caldera a su temperatura ambiental, todo esto está esquematizado en la figura 35



**Figura 35.** Métodos de las resistencias para la resistencia del aislante térmico y la resistencia del aire

Fuente: Estraño y Serrano

$$R_{at} = \frac{(\ln(r_o/r_i))}{2\pi Lk} \quad \text{Ec. (92)}$$

Siendo:

$r_o/r_i$ : Relación entre el diámetro interno de la corza y el aislante

L: Longitud del cilindro de la coraza

k: Conductividad térmica del aislante

Para la selección del aislante, se consulta un catálogo industrial de aislantes donde se encuentra el material de tela cerámica que soporta las temperaturas de trabajo de la caldera y posee una conductividad térmica de 0.08 K/W los detalles de este aislante según el catálogo están en el anexo M.

Para el cálculo de la resistencia equivalente del aire se asume una conductividad térmica del aire igual a  $5W/m^2 \text{ }^\circ K$

$$Ra = \frac{1}{hcA} \quad \text{Ec. (93)}$$

Siendo:

Ra: Resistencia del aire

h: Conductividad térmica del aire

A: Área

Con estos datos y según el método de las resistencias equivalentes, sumamos la resistencia del aislante y la resistencia del aire y se obtiene el resultado de la resistencia equivalente total, y con la temperatura de trabajo y la del ambiente se obtienen las pérdidas de calor por el aislante térmico

$$Req = \frac{(\ln(0.7008/0.65))}{2\pi \cdot 3.838\text{m} \cdot 0.08\text{W/m}^2\text{K} \cdot 0.11} + \frac{1}{5\text{W/m}^2\text{K} \cdot 2\pi \cdot 0.7008\text{m} \cdot 0.11} = 0.7675\text{K/W} \quad \text{Ec. (94)}$$

Calculando las perdidas debido al aislante

$$Q = \frac{873.15\text{C} - 304.15^\circ\text{C}}{0.7675\text{K/W}} = 741.36\text{W} \quad \text{Ec. (95)}$$

#### 4.3.14 Selección de chimenea

De acuerdo a los criterios establecidos por la norma UNE, se considera la altura de la edificación donde se sitúa la caldera para poder tomar una altura de referencia con respecto a su tejado con una diferencia de cota con respecto al mismo de 1m; con respecto al ruido producido por la caldera y su cercanía al hospital, según establece la norma la velocidad de escape de los gases deberá ser de un máximo de 15m/s esto se

define según la medida del diámetro para así poder adecuar a la velocidad necesaria para cumplir dichos requerimientos

A continuación, se puede apreciar de manera más sencilla todos los resultados importantes obtenidos de los cálculos pertinentes (Ver tabla 35)

**Tabla 35.** Tabla de resultados

Definición	Valor	Unidades
Potencia requerida por el Hospital	4890750	kw/h
Potencia neta producida por el Ciclo Rankine	5000400	kw/h
Calor útil de la caldera	6049.79	kJ/s
Flujo másico de combustible	2050.21	kg/h
Relación aire combustible real	6.088	
Temperatura de trabajo de la caldera	600	°C
Presión de trabajo de la caldera	1135.51	kPa
Volumen de cámara de combustión	2.78	$m^3$
Volumen de tanque de combustible	8.6	$m^3$
Longitud de desarrollo del serpentín del intercambiador de calor	74.25104	m
Espesor de pared de la coraza y el intercambiador de calor	0.868	In

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

#### 4.4 Análisis de los costos de la creación de una caldera de biomasa para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia

La estimación de costos de acuerdo a catálogos de proveedores nacionales e internacionales, se ve reflejada en la tabla 36 donde se establecen los materiales y según el anexo N las operaciones necesarias por costos en horas.

**Tabla 36.** Estimación de costos de los materiales y procesos de fabricación de la Caldera

Coraza de la Caldera				
Ítem	Cantidad	Medidas	Costo	Total
Alloy steel plates ASTM A387 20 x 1500 x 3000mm	9	mm	\$1,367.02	\$12,303.18
Coraza del intercambiador				
Ítem	Cantidad	Medidas	Costo	Total
Alloy steel plates ASTM A387 20 x 1500 x 3000mm	3	mm	\$1,367.02	\$4,101.06
Tubos del intercambiador				
Ítem	Cantidad	Medidas	Costo	Total
Hard copper tube 1-1/2 IN X20FT	13	in-ft	\$327.60	\$4,258.80
Aislante térmico				
Ítem	Cantidad	Medidas	Costo	Total
Tela cerámica 2"X300"X48"	4	in	\$90.00	\$360.00
Operaciones	Horas		Costo	Total
Soldadura	28		\$60.00	\$1,680.00
Doblado	0.34		\$30.00	\$10.20
Mecanizado	10		\$12.80	\$128.00
Cortadora	12		\$4.80	\$57.60
Ensamble	24		\$20.00	\$480.00
Análisis radiográfico	1		\$700.00	\$700.00
TOTAL				\$24,078.84

Fuente: Estraño y Serrano (2021)

## CONCLUSIONES

Se plateó diseñar una caldera de biomasa para funcionar como generador eléctrico auxiliar para el Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia, ya que por medio de un diagnóstico se determinó la necesidad que tiene este recinto hospitalario de tener una segunda opción de suministro de energía eléctrica, este diagnóstico se obtuvo por medio de una encuesta con uso de un cuestionario, además se usó la observación directa del lugar y así se obtuvo todo lo necesario para llegar a la conclusión de la necesidad de la creación de la caldera como segunda opción de suministro de energía eléctrica en caso de que falle la electricidad

También, se determinó la ubicación idónea de esta caldera, en donde los gases que esta emane no afecte a las edificaciones aledañas, a pesar de no ser tan contaminantes como una planta eléctrica a diésel o gasolina; se trató de evitar a toda costa que estos irrumpieran con las edificaciones por ser el tipo de ente en donde se trabajó; este lugar se logró diagnosticar gracias a unos estudios topográficos, sabiendo la inclinación del terreno y hacia dónde se dirige los vientos, como resultado de esto se decidió que la caldera de colocaría al sureste del Hospital.

Luego, en el desarrollo del capítulo IV se observa el diseño de una caldera acuotubular de 6000Kw que operara a un ciclo de generación de potencia sencillo para sustentar una demanda energética de 6Gw/h producida por un Hospital a causa de cortes energéticos que se producen en el país. El diseño del ciclo escogido satisface la demanda energética para que se pueda sustentar la ciudad hospitalaria más grande del país con electricidad, de acuerdo a su tanque de combustible que está diseñado para un uso de cuatro horas continuas, el tiempo medio estimado de los cortes de electricidad producidos en el área, el combustible a utilizarse es biomasa, específicamente pellets de madera que es un producto de fácil acceso y más económico que los combustibles utilizados en otras calderas; el uso de pellets se decidió, ya que de la categoría de

biomasa es uno de los combustibles que tiene mayor poder calorífico y es un recurso muy accesible por su composición que viene de la madera.

Cabe destacar que, el diseño de esta caldera, está fundamentado en las normas ASME de recipientes a presión, de igual manera se usan 2 software de apoyo para determinar los valores del ciclo y para realizar el diseño de piezas con su simulación

Por último, se determinó los costos de realización de esta caldera, se reflejó por medio de una tabla en donde se aprecia los costos de mano de obra, así como de materiales necesarios para lograr su realización

## RECOMENDACIONES

Luego de trazar la problemática y darle una propuesta para solucionarla; trazar y desarrollar unos objetivos específicos, se obtienen las siguientes recomendaciones

- Para el tipo de ciclo con el que opera la caldera, es un Ciclo Rankine simple, se recomienda incrementar la presión de la caldera en la entrada de la turbina, lo cual ayuda a mejorar el rendimiento de la caldera de biomasa
- Para futuros casos similares de diseño de calderas, es recomendable apegarse a las normativas existentes para el diseño de estas, bien sea las normas ASME, UNE e ISO EN UNE, que son unas de las más completas, las cuales hacen más sencillo realizar un diseño adecuado
- Se recomienda mantener bajo techo o mejor en un lugar completamente cerrado y seco a los pellets, los cuales funcionarán como combustible de la caldera, los pellets al estar húmedos se arruinan y no cumplen con su función, lo cual lo hará un desperdicio total de material y dinero
- Se recomienda tener un personal capacitado y el cual esté disponible para estar en constante vigilancia de la caldera al momento de que esté en funcionamiento, para que estén al pendiente de la presión, cantidad de combustible que necesite quemar para poder cumplir con la demanda energética para la cual fue diseñada, además, de vigilar que la caldera no tenga una fuga de presión
- Para completar el diseño al 100% de todo el proyecto y para que la caldera pueda funcionar de manera óptima, se recomienda, realizar el diseño de las redes eléctricas y las unidades transformación y almacenamiento eléctrico
- Se recomienda realizar un manual de uso y manejo de la caldera, para los futuros operadores; además, de realizar un método de prevención a la hora de que ocurra un accidente

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya O, Alfonso R. (2010) “Evaluación y puesta en funcionamiento de una caldera marca continental, pirotubular, horizontal, dos pasos, para producción de vapor saturado a 30 psi” Universidad Central de Venezuela. Disponible en: SABER UCV: Evaluación y puesta en funcionamiento de una caldera marca continental, pirotubular, horizontal, dos pasos, para producción de vapor saturado a 30 PSI
- Arias (1999) “El proyecto de investigación” Tercera edición. Editorial Espíteme
- Arias (2012) “El proyecto de investigación” Sexta edición. Editorial Espíteme
- Cengel, Yunus (2011). Transferencia de Calor. Editorial mcgraw-Hill, 4ta. Edición. México.
- Cengel, Yunus (2012). Termodinámica. Editorial mcgraw-Hill, 7ta. Edición. México
- Claudio Daniel Míguez Gómez (2012) “La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergética” Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: tesis Claudio Minguez (ucm.es)
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2000)
- “Eficiencia de calderas para el uso de biomasa” (2017). Revista Tecnológica. Disponible en:[https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Calderas\\_BIOMASA\\_final\(1\).pdf](https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Calderas_BIOMASA_final(1).pdf)
- Flores G. Blanca M y Tovar Luis A. (2010) “Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa biodigestor” de la Universidad de Carabobo. Disponible en: Redalyc.Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor©

Gómez, Francisco (2016). “Generación de energía a partir de la biomasa.” Disponible en:[http://www.oas.org/es/sedi/DSD/Biodiversidad/Eventos/Cursos/republicado\\_minicana/M%C3%b3dulo%20V/Documentos/Biomasa%20como%20fuente%20de%20energ%C3%ada%20en%20Rep%C3%ablica%20Dominicana.pdf](http://www.oas.org/es/sedi/DSD/Biodiversidad/Eventos/Cursos/republicado_minicana/M%C3%b3dulo%20V/Documentos/Biomasa%20como%20fuente%20de%20energ%C3%ada%20en%20Rep%C3%ablica%20Dominicana.pdf)

Hernández R, Fernández C, Baptista P (2010) “Metodología de la Investigación” Quinta Edición. Editorial mcgraw-HILL

IES. “Cristóbal de Monroy”, Dpto. De Tecnología. Disponible en: <http://www.sma.gob.mx/SGA-CCEL-CLAS-ER-BIOMASA.php>

INERCO <https://www.inerco.com/es/tecnologia-energetica/gasificacion-de-biomasa/>

Kenneth E, Heselton. (2005) “Boiler operator’s handbook”, Edición ilustrada. The Fairmont Press,inc, Estados Unidos

Kohan L, Antoni. (2006) “Manual de calderas”. Primera Edición. Mcgraw-Hill

Lalanne, Benjamín “Utilización de biomasa para la generación de energía eléctrica” del Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/927/L194%20-%20Utilizaci%C3%b3n%20biomasa%20para%20la%20generaci%C3%b3n%20de%20energ%C3%ada%20el%C3%a9ctrica.pdf?Sequence=1&isallowed=y>

Ley Orgánica del Ambiente

Norma COVENIN (2004)

Tamayo y Tamayo (2003) “El proceso de la Investigación científica” Cuarta edición. Editorial Limusa

Uso de la Biomasa. Disponible en: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/uso-biomasa-generator-energias-renovables/>

Wikipedia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear\\_Heat\\_flow.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Linear_Heat_flow.svg)

Calculador de calor liberado de la madera

<https://smart-unit-converter.com/heatig-wood.php>

Temperatura de ignición de la madera

<https://habic.eus/wood/madera-y-fuego.aspx>

[www.cointra.es/blog-10-curiosidades-pellet/#:~:text=Esto%20se%20debe%20a%20que,3](http://www.cointra.es/blog-10-curiosidades-pellet/#:~:text=Esto%20se%20debe%20a%20que,3)

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

ENCUESTA REALIZADA A LAS PERSONAS QUE HACEN VIDA EN EL  
HOSPITAL CENTRAL DR. ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### ENCUESTA

Ítem	Pregunta	Respuesta
1	1) ¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia?	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>
2	2) ¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico?	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>
3	3) ¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>
4	4) ¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área?	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>
5	5) ¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>

## APÉNDICE B

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO UTILIZADO EN ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE MECÁNICA

### CARTA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO PARA ELABORACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.

**Estimada Ing. Alicia De Pizzella**

Por medio de la presente los bachilleres **Estraño Mario** titular del número de cedula **V-22.416.917** y **Serrano Marval Alejandra** titular del número de cedula **V-26.019.164**, solicitamos, la validación del presente instrumento para la recolección de datos e información del trabajo de grado titulado: **“DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA COMO GENERADOR ELÉCTRICO AUXILIAR PARA EL HOSPITAL CENTRAL DR. ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA**

Este instrumento de medición cualitativo-cuantitativo, está estructurado como una planilla de evaluación del tipo “encuesta” que tiene como objetivo **Diagnosticar la situación actual con respecto a la demanda energética en las distintas áreas del hospital.**

Se agradece evaluar, analizar y validar el presente instrumento.

-----  
**Ing. Alicia de Pizzella**

**C.I. 4598880**



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE MECÁNICA**

## **PRESENTACIÓN DEL CUESTIONARIO**

### **Estimado ciudadano(a):**

El presente documento tiene como finalidad solicitar información la cual será utilizada para el desarrollo de una investigación que tiene como objetivo la **“DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA COMO GENERADOR ELÉCTRICO AUXILIAR PARA EL HOSPITAL CENTRAL DR. ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA** Elaborado por los bachilleres Estraño Mario y Serrano Alejandra

### **Instrucciones:**

1. Por favor lea el instrumento antes de responder.
2. Marque con una (X) la respuesta seleccionada por usted.
3. En los ítems que se le indique, suministre la información solicitada.
4. Por favor responda todas las preguntas.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**  
**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE MECÁNICA**

<b>PREGUNTA</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia?		
¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico?		
¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?		
¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área?		
¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?		

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE MECÁNICA**

**FORMATO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS**

**JUICIO DE EXPERTOS**

A continuación, se presenta una serie de aspectos a considerar para validar las distintas interrogantes que conforman el instrumento de recolección de datos, el cual será aplicado en la investigación de campo de los bachilleres Estraño Mario titular del número de cedula V-22.416.917 y Serrano Marval Alejandra titular del número de cedula V-26.019.164 en su trabajo de grado titulado: **“DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA COMO GENERADOR ELÉCTRICO AUXILIAR PARA EL HOSPITAL CENTRAL DR. ENRIQUE TEJERA DE VALENCIA**

**Instrucciones:**

Lea el instrumento y marque con una equis (X) su criterio en cuanto a los aspectos que a continuación se señalan:

1. Pertinencia: Relación estrecha entre la pregunta, los objetos a lograr y el instrumento que se encuentra desarrollando.
2. Redacción: Claridad y precisión en el uso del vocabulario técnico.
3. Adecuación: Correspondencia entre el contenido de cada pregunta y el nivel de preparación o desempeño del entrevistado.

<b>Código</b>	<b>Apreciación cualitativa</b>
<b>B</b>	<b>BUENO:</b> El indicador se presenta en grado igual o ligeramente superior al mínimo aceptable.
<b>R</b>	<b>REGULAR:</b> El indicador no llega al mínimo aceptable, pero se acerca a él.
<b>D</b>	<b>DEFICIENTE:</b> El indicador está lejos del mínimo Aceptable.

### INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

<b>PREGUNTAS</b>	<b>PERTINENCIA</b>			<b>REDACCIÓN</b>			<b>ADECUACIÓN</b>		
	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>D</b>
¿Acude regularmente al Hospital Central Dr. Enrique Tejera de Valencia?	X			X			X		
¿El área en que usted acude o se desempeña utiliza servicio eléctrico?	X			X			X		
¿El área en que usted trabaja o acude puede funcionar sin servicio eléctrico?	X			X			X		
¿La inestabilidad del servicio eléctrico representa un riesgo para el funcionamiento del área?	X			X			X		
¿Hay actualmente una alternativa de servicio eléctrico para cuando es suspendido por causas ajenas?	X			X			X		

<b>CONSIDERACIONES GENERALES</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
El instrumento tiene instrucciones claras y precisas para que el entrevistado pueda llenar la planilla.	X		
La presentación del instrumento es adecuada. De no ser así, señale los factores o variables a corregir o mejorar.	X		
Los factores y variables son adecuados para recolectar la información. De ser negativa su respuesta, sugiera los factores o variables que deben incluirse y/o eliminarse.	X		

<b>VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO</b>					
APLICABLE	<b>X</b>	NO APLICABLE		APLICABLE, CONSIDERANDO LAS OBSERVACIONES	

<b>DATOS DEL EXPERTO</b>	
Nombres y Apellidos:	<b>ALICIA DE PIZZELLA</b>
Cédula de Identidad:	<b>4598880</b>
Correo Electrónico:	<b>Alipiz54@gmail.com</b>
Nivel Académico:	<b>Ing. MECÁNICO MAGISTER ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS DOCTORANDO INNOVACIONES EDUCATIVAS</b>
C.I.V C.E.I.D.E.C:	<b>68397</b>
FIRMA	

## APÉNDICE C

CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO UTILIZADO EN ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

C ÁLCULO DEL COEFICIENTE DE KUDER RICHARDSON						
DISEÑO DE UNA CALDERA DE BIOMASA						
COMO GENERADOR ELÉCTRICO AUXILIAR						
PARA EL HOSPITAL CENTRAL CHET						
APLICADO A 80 PERSONAS						
ESTRAÑO MARIO SERRANO ALEJANDRA						
	1	2	3	4	5	
1	1	1	0	1	0	3
2	1	1	0	1	0	3
3	1	1	0	1	0	3
4	1	1	0	1	0	3
5	1	1	0	1	0	3
6	1	1	0	1	0	3
7	1	1	0	1	0	3
8	1	1	0	1	0	3
9	1	1	0	1	0	3
10	1	1	0	1	0	3
11	1	1	0	1	1	4
12	1	1	0	1	0	3
13	1	1	0	1	0	3
14	1	1	0	1	0	3
15	1	1	0	1	0	3
16	1	1	0	1	0	3
17	1	1	0	1	0	3
18	1	1	0	1	0	3
19	1	1	0	1	0	3
20	1	1	0	1	0	3
21	1	1	0	1	0	3
22	1	1	0	1	0	3
23	1	1	0	1	0	3
24	1	1	0	1	0	3
25	1	1	0	1	0	3
26	1	1	0	1	0	3
27	1	1	0	1	0	3
28	1	1	0	1	1	4
29	1	1	0	1	1	4
30	1	1	0	1	1	4

31	1	1	0	1	0	3
32	1	1	0	1	0	3
33	1	1	0	1	0	3
34	1	1	0	1	1	4
35	1	1	0	1	1	4
36	1	1	0	1	0	3
37	1	1	0	1	0	3
38	1	1	0	1	0	3
39	1	1	0	1	0	3
40	0	1	0	1	0	2
41	1	1	0	1	0	3
42	1	1	0	1	0	3
43	1	1	0	1	0	3
44	1	1	0	1	0	3
45	1	1	0	1	0	3
46	1	1	0	1	0	3
47	1	1	0	1	0	3
48	1	1	0	1	0	3
49	1	1	0	1	0	3
50	1	1	0	1	0	3
51	1	1	0	1	0	3
52	1	1	1	1	0	4
53	1	1	0	1	0	3
54	1	1	0	1	0	3
55	1	1	0	1	0	3
56	1	1	0	1	0	3
57	1	1	0	1	0	3
58	1	1	0	1	0	3
59	1	1	0	1	0	3
60	1	1	0	1	0	3

62	1	1	0	1	0	3
63	1	1	1	1	0	4
64	1	1	0	1	0	3
65	1	1	0	0	0	2
66	1	1	0	0	0	2
67	1	1	0	1	0	3
68	0	0	0	0	0	0
69	1	1	0	1	0	3
70	1	1	0	1	0	3
71	1	0	0	0	0	1
72	1	0	0	0	0	1
73	0	0	0	0	0	0
74	1	1	0	1	0	3
75	1	1	0	1	1	4
76	1	1	0	1	0	3
77	1	1	0	1	0	3
78	1	1	0	1	0	3
79	1	1	0	1	0	3
80	1	1	0	1	0	3
P	0,95	0,9375	0,025	0,9125	0,0875	
Q	0,05	0,0625	0,975	0,0875	0,9125	
P*Q	0,0475	0,0585938	0,024375	0,079844	0,07984375	
						p*q = 0,29016
<b>CÁLCULO DEL COEFICIENTE KUDER RICHARDSON</b>						Vt= 0,57984
$KR(2) = \frac{N}{N-1} \times \frac{Vt - \sum P*Q}{Vt}$ KR (20) =						0,62449
<b>LEYENDA</b>						
<b>ESCALA KUDER RICHARDSON</b>						
RANGO			MAGNITUD			
0,81 a 1			Muy Alta			
0,61 a 0,80			Alta			
0,41 a 0,60			Moderada			
0,21 a 0,40			Baja			
0,01 a 0,20			Muy Baja			
Fuente : Ruiz 2002						

# ANEXOS

## ANEXO A

### PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA SATURADA

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Líqu. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Líqu. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Líqu. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2566
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Temp., $T$ °C	sat., $P_{\text{sat}}$ kPa	sat, $v_f$	sat., $v_g$	sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	sat., $u_g$	sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	sat., $h_g$	sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	sat., $s_g$
205	1724.3	0.001164	0.11508	872.86	1723.5	2596.4	874.87	1920.0	2794.8	2.3776	4.0154	6.3930
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.38	1702.9	2598.3	897.61	1899.7	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
215	2105.9	0.001181	0.094680	918.02	1681.9	2599.9	920.50	1878.8	2799.3	2.4712	3.8489	6.3200
220	2319.6	0.001190	0.086094	940.79	1660.5	2601.3	943.55	1857.4	2801.0	2.5176	3.7664	6.2840
225	2549.7	0.001199	0.078405	963.70	1638.6	2602.3	966.76	1835.4	2802.2	2.5639	3.6844	6.2483
230	2797.1	0.001209	0.071505	986.76	1616.1	2602.9	990.14	1812.8	2802.9	2.6100	3.6028	6.2128
235	3062.6	0.001219	0.065300	1010.0	1593.2	2603.2	1013.7	1789.5	2803.2	2.6560	3.5216	6.1775
240	3347.0	0.001229	0.059707	1033.4	1569.8	2603.1	1037.5	1765.5	2803.0	2.7018	3.4405	6.1424
245	3651.2	0.001240	0.054656	1056.9	1545.7	2602.7	1061.5	1740.8	2802.2	2.7476	3.3596	6.1072
250	3976.2	0.001252	0.050085	1080.7	1521.1	2601.8	1085.7	1715.3	2801.0	2.7933	3.2788	6.0721
255	4322.9	0.001263	0.045941	1104.7	1495.8	2600.5	1110.1	1689.0	2799.1	2.8390	3.1979	6.0369
260	4692.3	0.001276	0.042175	1128.8	1469.9	2598.7	1134.8	1661.8	2796.6	2.8847	3.1169	6.0017
265	5085.3	0.001289	0.038748	1153.3	1443.2	2596.5	1159.8	1633.7	2793.5	2.9304	3.0358	5.9662
270	5503.0	0.001303	0.035622	1177.9	1415.7	2593.7	1185.1	1604.6	2789.7	2.9762	2.9542	5.9305
275	5946.4	0.001317	0.032767	1202.9	1387.4	2590.3	1210.7	1574.5	2785.2	3.0221	2.8723	5.8944
280	6416.6	0.001333	0.030153	1228.2	1358.2	2586.4	1236.7	1543.2	2779.9	3.0681	2.7898	5.8579
285	6914.6	0.001349	0.027756	1253.7	1328.1	2581.8	1263.1	1510.7	2773.7	3.1144	2.7066	5.8210
290	7441.8	0.001366	0.025554	1279.7	1296.9	2576.5	1289.8	1476.9	2766.7	3.1608	2.6225	5.7834
295	7999.0	0.001384	0.023528	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2076	2.5374	5.7450
300	8587.9	0.001404	0.021659	1332.7	1230.9	2563.6	1344.8	1404.8	2749.6	3.2548	2.4511	5.7059
305	9209.4	0.001425	0.019932	1360.0	1195.9	2555.8	1373.1	1366.3	2739.4	3.3024	2.3633	5.6657
310	9865.0	0.001447	0.018333	1387.7	1159.3	2547.1	1402.0	1325.9	2727.9	3.3506	2.2737	5.6243
315	10556	0.001472	0.016849	1416.1	1121.1	2537.2	1431.6	1283.4	2715.0	3.3994	2.1821	5.5816
320	11284	0.001499	0.015470	1445.1	1080.9	2526.0	1462.0	1238.5	2700.6	3.4491	2.0881	5.5372
325	12051	0.001528	0.014183	1475.0	1038.5	2513.4	1493.4	1191.0	2684.3	3.4998	1.9911	5.4908
330	12858	0.001560	0.012979	1505.7	993.5	2499.2	1525.8	1140.3	2666.0	3.5516	1.8906	5.4422
335	13707	0.001597	0.011848	1537.5	945.5	2483.0	1559.4	1086.0	2645.4	3.6050	1.7857	5.3907
340	14601	0.001638	0.010783	1570.7	893.8	2464.5	1594.6	1027.4	2622.0	3.6602	1.6756	5.3358
345	15541	0.001685	0.009772	1605.5	837.7	2443.2	1631.7	963.4	2595.1	3.7179	1.5585	5.2765
350	16529	0.001741	0.008806	1642.4	775.9	2418.3	1671.2	892.7	2563.9	3.7788	1.4326	5.2114
355	17570	0.001808	0.007872	1682.2	706.4	2388.6	1714.0	812.9	2526.9	3.8442	1.2942	5.1384
360	18666	0.001895	0.006950	1726.2	625.7	2351.9	1761.5	720.1	2481.6	3.9165	1.1373	5.0537
365	19822	0.002015	0.006009	1777.2	526.4	2303.6	1817.2	605.5	2422.7	4.0004	0.9489	4.9493
370	21044	0.002217	0.004953	1844.5	385.6	2230.1	1891.2	443.1	2334.3	4.1119	0.6890	4.8009
373.95	22064	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

Agua saturada. Tabla de presiones

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

Agua saturada. Tabla de presiones (conclusión)

Pres., P kPa	Temp. sat., $T_{sat}$ °C	Volumen específico, $m^3/kg$		Energía interna, $kJ/kg$			Entalpía, $kJ/kg$			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líqu. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Líqu. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Líqu. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Líqu. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	585.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

## ANEXO B

### PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL VAPOR SOBRECALENTADO

Vapor de agua sobrecalentado												
$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$
°C	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg · K
$P = 0.01 \text{ MPa (45.81}^\circ\text{C)}^*$				$P = 0.05 \text{ MPa (81.32}^\circ\text{C)}$				$P = 0.10 \text{ MPa (99.61}^\circ\text{C)}$				
Sat. <sup>†</sup>	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
$P = 0.20 \text{ MPa (120.21}^\circ\text{C)}$				$P = 0.30 \text{ MPa (133.52}^\circ\text{C)}$				$P = 0.40 \text{ MPa (143.61}^\circ\text{C)}$				
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
$P = 0.50 \text{ MPa (151.83}^\circ\text{C)}$				$P = 0.60 \text{ MPa (158.83}^\circ\text{C)}$				$P = 0.80 \text{ MPa (170.41}^\circ\text{C)}$				
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

\*La temperatura entre paréntesis es la temperatura de saturación a la presión especificada.

† Propiedades del vapor saturado a la presión especificada.

Vapor de agua sobrecalentado (continuación)

<i>T</i> °C	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m <sup>3</sup> /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K
P = 1.00 MPa (179.88 °C)				P = 1.20 MPa (187.96 °C)				P = 1.40 MPa (195.04 °C)				
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
P = 1.60 MPa (201.37 °C)				P = 1.80 MPa (207.11 °C)				P = 2.00 MPa (212.38 °C)				
Sat.	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45383	4684.8	5410.9	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1872	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384
P = 2.50 MPa (223.95 °C)				P = 3.00 MPa (233.85 °C)				P = 3.50 MPa (242.56 °C)				
Sat.	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244
225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629								
250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764
300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484
350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601
400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428
450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074
500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593
600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.13245	3285.5	3682.8	7.5103	0.11325	3282.5	3678.9	7.4357
700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3909.3	7.6855
800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156
900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304
1000	0.23466	4049.0	4635.6	8.4897	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324
1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236
1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053
1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786

Propiedades de gas ideal del vapor de agua, H<sub>2</sub>O

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$s^\circ$ kJ/kmol · K	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$s^\circ$ kJ/kmol · K
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212.920
220	7,295	5,466	178.576	610	20,765	15,693	213.529
230	7,628	5,715	180.054	620	21,130	15,975	214.122
240	7,961	5,965	181.471	630	21,495	16,257	214.707
250	8,294	6,215	182.831	640	21,862	16,541	215.285
260	8,627	6,466	184.139	650	22,230	16,826	215.856
270	8,961	6,716	185.399	660	22,600	17,112	216.419
280	9,296	6,968	186.616	670	22,970	17,399	216.976
290	9,631	7,219	187.791	680	23,342	17,688	217.527
298	9,904	7,425	188.720	690	23,714	17,978	218.071
300	9,966	7,472	188.928	700	24,088	18,268	218.610
310	10,302	7,725	190.030	710	24,464	18,561	219.142
320	10,639	7,978	191.098	720	24,840	18,854	219.668
330	10,976	8,232	192.136	730	25,218	19,148	220.189
340	11,314	8,487	193.144	740	25,597	19,444	220.707
350	11,652	8,742	194.125	750	25,977	19,741	221.215
360	11,992	8,998	195.081	760	26,358	20,039	221.720
370	12,331	9,255	196.012	770	26,741	20,339	222.221
380	12,672	9,513	196.920	780	27,125	20,639	222.717
390	13,014	9,771	197.807	790	27,510	20,941	223.207
400	13,356	10,030	198.673	800	27,896	21,245	223.693
410	13,699	10,290	199.521	810	28,284	21,549	224.174
420	14,043	10,551	200.350	820	28,672	21,855	224.651
430	14,388	10,813	201.160	830	29,062	22,162	225.123
440	14,734	11,075	201.955	840	29,454	22,470	225.592
450	15,080	11,339	202.734	850	29,846	22,779	226.057
460	15,428	11,603	203.497	860	30,240	23,090	226.517
470	15,777	11,869	204.247	870	30,635	23,402	226.973
480	16,126	12,135	204.982	880	31,032	23,715	227.426
490	16,477	12,403	205.705	890	31,429	24,029	227.875
500	16,828	12,671	206.413	900	31,828	24,345	228.321
510	17,181	12,940	207.112	910	32,228	24,662	228.763
520	17,534	13,211	207.799	920	32,629	24,980	229.202
530	17,889	13,482	208.475	930	33,032	25,300	229.637
540	18,245	13,755	209.139	940	33,436	25,621	230.070
550	18,601	14,028	209.795	950	33,841	25,943	230.499
560	18,959	14,303	210.440	960	34,247	26,265	230.924
570	19,318	14,579	211.075	970	34,653	26,588	231.347
580	19,678	14,856	211.702	980	35,061	26,913	231.767
590	20,039	15,134	212.320	990	35,472	27,240	232.184

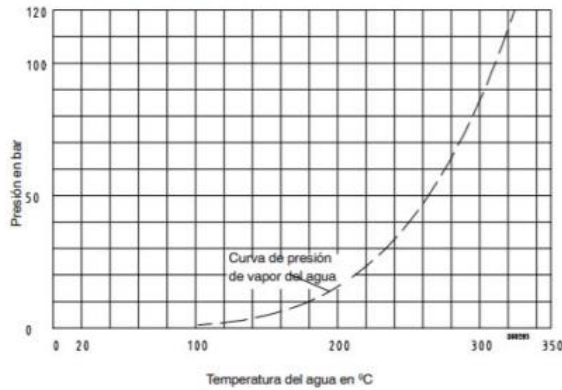
## ANEXO C

### CATÁLOGO DE BOMBAS KSB



HPH

#### Límites de presión y temperatura Curva de presión de vapor del agua



#### Presión de servicio máxima permisible, max. 110 bar (véase curva de presión de vapor del agua)

Tamaño HPH	con Recepción según TRD												sin Recepción según TRD											
	1.7706						1.4931						1.7706						1.4931					
	20°C	200°C	300°C	20°C	200°C	300°C	20°C	200°C	300°C	350°C	20°C	200°C	300°C	20°C	200°C	300°C	350°C							
40-250	59.2	51.8	42.9	108.5	102.8	97.2	83.2	110.0	110.0	110.0	106.2	72.6	51.9	43.0	110.0	110.0	108.1	103.8	110.0	110.0	110.0	110.0		
50-200	70.2	61.4	50.9	97.7	97.7	97.7	97.7	110.0	110.0	110.0	110.0	96.1	61.5	51.0	108.6	108.6	108.6	108.6	110.0	110.0	110.0	110.0		
50-400	53.9	47.2	39.1	96.9	93.5	88.6	85.0	110.0	109.3	104.4	99.6	66.1	47.2	39.1	110.0	104.0	98.0	94.5	110.0	110.0	110.0	110.0		
80-200	48.9	42.7	35.4	88.6	84.6	80.2	76.9	110.0	98.0	85.5	80.1	59.9	42.8	35.5	107.8	94.2	89.3	85.9	110.0	110.0	105.1	100.2		
80-250	47.8	39.8	33.0	87.8	78.9	74.8	71.7	107.5	92.2	88.1	84.0	55.8	39.9	33.0	106.2	87.7	83.1	78.7	110.0	102.5	97.9	93.4		
80-315	45.2	32.9	27.3	74.8	65.3	61.9	59.3	91.5	76.3	72.9	69.5	46.2	33.0	27.3	82.9	72.5	69.8	65.9	101.8	84.8	81.1	77.3		
100-200	46.9	41.0	34.0	86.0	81.2	77.0	73.8	105.5	94.9	90.7	86.5	57.5	41.1	34.0	103.2	90.3	85.8	82.1	110.0	105.6	100.9	96.2		
100-250	69.0	50.3	41.7	110.0	99.7	94.5	90.6	110.0	110.0	110.0	106.1	70.5	50.4	41.7	110.0	110.0	105.0	100.7	110.0	110.0	110.0	110.0		
100-315	45.2	33.0	27.3	74.7	65.3	61.9	59.4	91.7	76.4	73.0	69.6	46.2	33.0	27.3	83.0	72.6	69.9	66.0	101.9	84.9	81.1	77.4		
150-250	59.8	52.1	43.2	109.3	103.2	97.3	93.9	110.0	110.0	110.0	110.0	73.0	52.1	43.2	110.0	110.0	108.8	104.4	110.0	110.0	110.0	110.0		
150-315	54.4	40.1	33.2	90.7	79.4	75.3	72.3	110.0	92.8	88.7	84.6	56.2	40.1	33.3	100.9	88.3	83.7	80.3	110.0	103.2	98.8	94.0		
200-250	61.5	52.5	43.5	110.0	104.0	98.6	94.6	110.0	110.0	110.0	110.0	73.6	52.6	43.6	110.0	110.0	109.7	105.2	110.0	110.0	110.0	110.0		
200-315	58.4	51.1	42.3	107.1	101.2	96.0	92.0	110.0	110.0	110.0	107.8	71.8	51.1	42.4	110.0	110.0	106.7	102.3	110.0	110.0	110.0	110.0		
200-316	68.1	49.7	41.2	110.0	98.4	93.3	89.5	110.0	110.0	109.9	104.8	69.6	49.7	41.2	110.0	109.4	103.7	99.4	110.0	110.0	110.0	110.0		
200-400	45.5	39.8	33.0	83.5	78.9	74.8	71.8	102.5	92.3	88.2	84.1	55.8	39.9	33.0	100.3	87.8	83.2	79.8	110.0	102.6	98.0	93.5		
200-401	47.0	34.2	28.4	77.5	67.8	64.3	61.7	95.1	79.3	75.8	72.2	48.0	34.3	28.4	86.2	75.4	71.5	68.6	105.8	88.2	84.2	80.3		
200-501	62.3	45.9	38.0	103.8	90.9	86.1	82.6	110.0	106.2	101.5	96.8	64.3	45.9	38.1	110.0	101.0	95.7	91.8	110.0	110.0	110.0	107.5		
250-316	79.9	61.5	51.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	66.2	61.6	51.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0		
250-401	64.0	46.7	38.7	105.7	92.5	87.7	84.1	110.0	108.1	103.8	98.5	65.4	46.7	38.7	110.0	102.8	97.5	93.5	110.0	110.0	110.0	109.5		
250-501	47.0	41.1	34.1	86.2	81.5	77.2	74.0	105.8	95.2	91.0	86.7	57.6	41.1	34.1	103.5	90.8	85.9	82.3	110.0	105.8	101.1	96.4		
300-400	62.4	54.6	45.2	110.0	108.1	102.5	98.3	110.0	110.0	110.0	110.0	76.5	54.6	45.3	110.0	110.0	110.0	109.3	110.0	110.0	110.0	110.0		
300-500												46.8	33.5	27.7	84.1	73.8	69.8	66.9	103.2	86.0	82.2	78.4		

#### Combinaciones de materiales

Denominación de la pieza	Material	1.7706	1.4931
Carcasa espiral	GP240GH+N	1.7706	1.4931
Pie de apoyo	JS1025 <sup>6)</sup>	JS1025 <sup>6)</sup>	JS1025 <sup>6)</sup>
Eje	1.7709+QT+SR	1.7709+QT+SR	1.7709+QT+SR
Rodete o impulsor	JL1040 <sup>1) 5)</sup> / 1.4408	JL1040 <sup>1) 5)</sup> / 1.4408	JL1040 <sup>1) 5)</sup> / 1.4408
Soporte de cojinetes	JL1040 <sup>5)</sup>	JL1040 <sup>5)</sup>	JL1040 <sup>5)</sup>
Linterna del soporte	1.7706	1.7706	1.7706 <sup>2)</sup>
Tornillos de la carcasa <sup>3)</sup>	1.6772	1.6772	1.6772
Aro rozante carcasa	JL1040 <sup>4) 5)</sup>	JL1040 <sup>4) 5)</sup>	JL1040 <sup>4) 5)</sup>
Aro rozante rodete	1.4027	1.4027	1.4027
Casquillo protector del eje	1.4122	1.4122	1.4122
Tuerca del rodete	1.4571	1.4571	1.4571

1) JS1025 desde rodete Ø 315, v > 40 m/s ó t > 250 °C

2) en el tamaño 50-400 es necesario 1.4931

3) > 80 bar, tornillo de dilatación s/DIN 2510

4) bajo demanda, VG 434

5) según EN 1561 = GJL-250

6) según EN 1563 = GJS-400-18-LT

(KSB, s.f.)

## ANEXO D

### CATÁLOGO DE TURBINA SIEMENS SST-200

#### SST-200

##### Economic and highly reliable

The Siemens SST-200 Siemens industrial steam turbine product line is based on the reaction blade technology.

The turbine series follows a modular product philosophy, ensuring a high level of performance and reliability.

The ability to combine standardized casing modules enable optimal design flexibility. This allows the turbine series to achieve high performance in combination with an optimal cost position.

Each steam path is customized for optimal fit to the specific thermal cycle requirements providing high efficiency over the entire operating range.

The inlet and exhaust sections are configured to cover different plant layout needs, and is available for both condensing and back pressure applications.

With this flexible approach the SST-200 series cover the range of both industrial power generation and mechanical drive applications.

The product design closely follows API 612 requirements.

#### Typical applications



Sugar



Chemical



Biomass



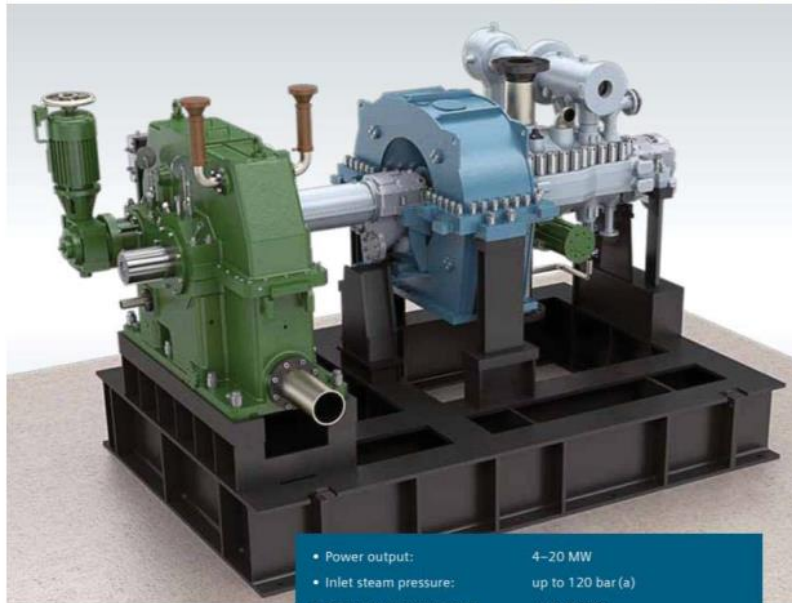
Mechanical drive



Metals and mining



Energy from waste plants



• Power output:	4–20 MW
• Inlet steam pressure:	up to 120 bar (a)
• Inlet steam temperature:	up to 540°C
Exhaust conditions:	
• Water-Cooled Condenser	0.05–0.15 bar (a)
• Air-Cooled Condenser	0.15–0.50 bar (a)
• Backpressure Turbines	2–20 bar (a)
• Uncontrolled extraction	up to 3
• Controlled extraction	1

(Siemens, 2020)

## ANEXO E

### CATÁLOGO BITZER CONDENSADOR

#### Performance Data/Technical Data

Model	Performance data for 2-pass design					Vessel volume		Maximum refrigerant charge <sup>Ⓞ</sup>			Weight
	Condenser capacity <sup>Ⓞ</sup>	Nominal coolant flow rate	Pressure drop	Maximum coolant flow <sup>Ⓞ</sup>	Minimum coolant flow	Refrigerant side	Coolant side	R448A	R449A	R290	
								kg	kg	kg	
	kW	m <sup>3</sup> /h	kPa	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	dm <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup>	kg	kg	kg	kg
<b>Standard design</b>											
K033.	4.0	0.58	2	1.38	0.43	3.8	0.4	3.8	3.6	1.7	10
K073H	7.3	1.08	2	2.75	0.85	3.4	0.7	3.4	3.3	1.5	11
K123H	14.8	2.14	10	2.75	0.85	5.1	0.9	5.1	4.9	2.3	14
K203H	20.6	2.97	8	6.42	1.28	11.8	1.8	11.9	11.3	5.3	25
K283H	30.3	4.37	10	8.56	1.71	11.3	2.1	11.4	10.9	5.1	27
K373H	52.3	7.55	23	10.71	2.14	14.5	3.1	14.6	13.9	6.5	35
K573H	72.0	10.39	12	17.83	3.57	29.4	5.8	29.7	28.3	13.2	59
K813H	91.7	13.23	12	22.7	4.54	27.7	7.0	27.9	26.6	12.5	62
K1053H	146.7	21.2	36	22.7	4.54	40.0	9.3	40.4	38.4	18.0	85
K1353T	187.8	27.1	36	29.2	5.84	37.0	11.5	37.3	35.6	16.7	9
K1973T	269	38.9	35	42.2	8.43	76.0	18.8	76.7	73.0	34.2	195
K2923T	387	55.9	34	61.5	12.65	67.0	25.0	67.6	64.3	30.2	230
K3803T	511	73.7	34	81.1	16.23	108.0	37.4	109.0	103.7	48.6	335
K4803T	657	94.9	35	103.9	20.8	98.0	45.0	98.9	94.1	44.1	360
K6703.	811	117	26	146	29.0	201	74.2	202.8	193.0	90.5	600
K8503.	1025	148	26	185	37.0	181	88.1	182.6	173.8	81.5	650
<b>Seawater resistant design</b>											
K033.B	3.9	1.20	9	1.38	0.43	3.8	0.4	3.8	3.6	1.7	11
K073HB	7.8	2.60	11	2.75	0.85	3.4	0.7	3.4	3.3	1.5	12
K123HB	11.1	2.60	14	2.75	0.85	5.1	0.9	5.1	4.9	2.3	18
K203HB	16.7	4.63	20	5.14	1.28	11.8	1.8	11.9	11.3	5.3	29
K283HB	23.3	6.15	19	6.85	1.71	11.3	2.1	11.4	10.9	5.1	30
K373HB	36.0	7.70	24	8.55	2.14	14.5	3.1	14.6	13.9	6.5	38
K573HB	58.2	13.16	18	14.65	3.57	29.4	5.8	29.7	28.3	13.2	66
K813HB	74.4	16.82	18	18.70	4.54	27.7	7.0	27.9	26.6	12.5	68
K1053HB	98.5	16.82	24	18.70	4.54	40.0	9.3	40.4	38.4	18.0	94
K1353TB	125.9	21.6	23	23.95	5.84	37.0	11.5	37.3	35.6	16.7	98
K1973TB	182	31.2	24	34.6	8.43	76.0	18.8	76.7	73.0	34.2	200
K2923TB	263	45.5	23	50.6	12.65	67.0	25.0	67.6	64.3	30.2	235
K3803TB	347	59.9	23	66.7	16.23	108.0	37.4	109.0	103.7	48.6	340
K4803TB	444	76.8	23	85.4	20.8	98.0	45.0	98.9	94.1	44.1	365

## ANEXO F

### PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL NITRÓGENO

#### NITROGENO

Temperatur °K	Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor especifico $c_p$ kJ/Kg°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /seg)	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^4$ (m <sup>2</sup> /seg)	Nº de Prandt Pr
100	3,4808	1,0722	6,86	1,97	0,00945	0,0253	0,786
200	1,7108	1,0429	12,95	7,57	0,01824	0,1022	0,747
300	1,1421	1,0408	17,84	15,63	0,02620	0,2204	0,713
400	0,8538	1,0459	21,98	25,74	0,03335	0,3734	0,691
500	0,6824	1,0555	25,70	37,66	0,03984	0,5530	0,684
600	0,5687	1,0756	29,11	51,19	0,04580	0,7486	0,686
700	0,4934	1,0969	32,13	65,13	0,05123	0,9466	0,691
800	0,4277	1,1225	34,84	81,46	0,05609	1,1685	0,700
900	0,3796	1,1464	37,49	91,06	0,06070	1,3946	0,711
1000	0,3412	1,1677	40,00	117,20	0,06475	1,6250	0,724
1100	0,3108	1,1857	42,28	136,00	0,06850	1,8591	0,736
1200	0,2851	1,2037	44,50	156,10	0,07184	2,0932	0,748

## ANEXO G

### PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AIRE

#### AIRE

Temperatur °K	Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor especifico $c_p$ kJ/Kg°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /seg)	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^4$ (m <sup>2</sup> /seg)	Nº de Prandt Pr
100	3,6010	1,027	0,692	1,92	0,0092	0,0250	0,770
150	2,3675	1,010	1,028	4,34	0,0137	0,0575	0,753
200	1,7684	1,006	1,329	7,49	0,0181	0,1017	0,739
250	1,4128	1,005	1,488	10,53	0,0223	0,1316	0,722
300	1,1774	1,006	1,983	16,84	0,0262	0,2216	0,708
350	0,9980	1,009	2,075	20,76	0,0300	0,2983	0,697
400	0,8826	1,014	2,286	25,90	0,0336	0,3760	0,689
450	0,7833	1,021	2,484	31,71	0,0371	0,4222	0,683
500	0,7048	1,030	2,671	37,90	0,0404	0,5564	0,680
550	0,6423	1,039	2,848	44,34	0,0436	0,6532	0,680
600	0,5879	1,055	3,018	51,34	0,0466	0,7512	0,680
650	0,5430	1,063	3,177	58,51	0,0495	0,8578	0,682
700	0,5030	1,075	3,332	66,25	0,0523	0,9672	0,684
750	0,4709	1,086	3,481	73,91	0,0551	1,0774	0,686
800	0,4405	1,098	3,625	82,29	0,0578	1,1981	0,689
850	0,4149	1,109	3,765	90,75	0,0603	1,3097	0,692
900	0,3925	1,121	3,899	99,30	0,0628	1,4271	0,696
950	0,3716	1,132	4,023	108,20	0,0653	1,5510	0,699
1000	0,3524	1,142	4,152	117,80	0,0675	1,6779	0,702
1100	0,3204	1,160	4,440	138,60	0,0732	1,9690	0,704
1200	0,2947	1,179	4,690	159,10	0,0782	2,2510	0,707
1300	0,2707	1,197	4,930	182,10	0,0837	2,5830	0,705
1400	0,2515	1,214	5,170	205,50	0,0891	2,9200	0,705
1500	0,2355	1,230	5,400	229,10	0,0946	3,2620	0,705
1600	0,2211	1,248	5,630	254,50	0,1000	3,6090	0,705
1700	0,2082	1,267	5,850	280,50	0,1050	3,9770	0,705
1800	0,1970	1,287	6,070	308,10	0,1110	4,3790	0,704
1900	0,1858	1,309	6,290	338,50	0,1170	4,8110	0,704
2000	0,1762	1,338	6,500	369,00	0,1240	5,2600	0,702
2100	0,1682	1,372	6,720	399,60	0,1310	5,7150	0,700
2200	0,1602	1,419	6,930	432,60	0,1390	6,1200	0,707
2300	0,1538	1,482	7,140	464,00	0,1490	6,5400	0,710
2400	0,1458	1,574	7,350	504,00	0,1610	7,0200	0,718
2500	0,1394	1,688	7,570	543,50	0,1750	7,4410	0,730

## ANEXO H

### PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL DIÓXIDO DE CARBONO

#### DIOXIDO DE CARBONO, CO<sub>2</sub>

Temp. °K	Densidad $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico $c_p$ kJ/Kg°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /seg)	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^5$ (m <sup>2</sup> /seg)	Nº de Prandtl
220	2,4733	0,783	11,105	4,49	0,010805	0,0592	0,818
250	2,1657	0,804	12,59	5,81	0,012884	0,07401	0,793
300	1,7973	0,871	14,958	8,32	0,016572	0,10588	0,770
350	1,5362	0,900	17,205	11,19	0,02047	0,14808	0,755
400	1,3424	0,942	19,32	14,39	0,02461	0,19463	0,738
450	1,1918	0,980	21,34	17,90	0,02897	0,24813	0,721
500	1,0732	1,013	23,26	21,67	0,03352	0,3084	0,702
550	0,9739	1,047	25,08	25,74	0,03821	0,375	0,685
600	0,8938	1,076	26,83	30,02	0,04311	0,4483	0,668

## ANEXO I

### PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL CO<sub>2</sub> HÚMEDO

#### CONSTANTES TERMODINAMICAS DEL CO<sub>2</sub> HUMEDO

Temperatura °C	Presión		Líquido			Vapor saturado seco			
	Atmósferas	Bars	$v'$ dm <sup>3</sup> /Kg	$i'$ Kcal/Kg	$s'$ Kcal/Kg.°C	$v''$ dm <sup>3</sup> /Kg	$r$ Kcal/Kg	$i''$ Kcal/Kg	$s''$ Kcal/Kg.°C
-50	6,97	6,83	0,867	75,00	0,9020	55,407	80,56	155,57	1,2631
-45	8,49	8,32	0,881	77,30	0,9120	45,809	78,59	155,89	1,2563
-40	10,25	10,05	0,897	79,59	0,9218	38,164	76,58	156,17	1,2503
-35	12,26	12,02	0,913	81,80	0,9314	32,008	74,51	156,39	1,2443
-30	14,55	14,27	0,931	84,19	0,9408	27,001	72,37	156,56	1,2385
-25	17,14	16,81	0,950	86,53	0,9501	22,885	70,14	156,67	1,2328
-20	20,06	19,67	0,971	88,93	0,9594	19,466	67,79	156,78	1,2272
-15	23,34	22,79	0,994	91,44	0,9690	16,609	65,26	156,70	1,2218
-10	26,99	26,47	1,019	94,09	0,9787	14,194	62,51	156,60	1,2163
-5	30,51	30,45	1,048	96,91	0,9890	12,141	59,5	156,41	1,2109
0	35,54	34,85	1,081	100,00	1,0000	10,383	56,13	156,13	1,2055
5	40,50	39,71	1,120	103,10	1,0103	8,850	52,35	155,45	1,1985
10	45,95	45,06	1,166	106,50	1,0218	7,519	48,09	154,59	1,1917
15	51,93	50,92	1,223	110,10	1,0340	6,323	43,07	153,17	1,1836
20	58,46	57,33	1,297	114,00	1,0468	5,269	37,1	151,10	1,1734
25	65,59	64,32	1,409	118,80	1,0628	4,232	28,53	147,33	1,1585
30	73,34	71,92	1,680	125,90	1,0854	2,979	15,05	140,95	1,1351
35	74,96	73,51	2,156	133,50	1,1098	2,156	0	133,50	1,1098

## ANEXO J

### PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL VAPOR DE AGUA HÚMEDO

#### VAPOR DE AGUA HUMEDO

Temperatura °C	Densidad Kg/m <sup>3</sup>		Calor específico kJ/Kg.°C		Conductividad térmica W/m.°C		Viscosidad dinámica $\eta \cdot 10^3$ (Kg/m.seg)		Número de Prandtl Pr	
	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor
0	1000	0,0049	4,21	1,86	0,569	0,0163	1,75	0,0085	13,00	0,97
5	1000	0,0068	4,20	1,86	0,578	0,0167	1,50	0,0087	10,90	0,96
10	1000	0,0094	4,19	1,86	0,587	0,0171	1,30	0,0088	9,29	0,96
15	999	0,0128	4,19	1,87	0,595	0,0175	1,14	0,0090	7,99	0,96
20	998	0,0173	4,18	1,87	0,603	0,0179	1,00	0,0092	6,95	0,96
25	997	0,0230	4,18	1,88	0,611	0,0183	0,89	0,0094	6,09	0,96
30	996	0,0304	4,18	1,88	0,618	0,0187	0,80	0,0095	5,39	0,96
40	992	0,0512	4,18	1,89	0,632	0,0195	0,59	0,0100	3,89	0,95
60	983	0,130	4,19	1,91	0,653	0,0212	0,46	0,0106	2,97	0,95
80	972	0,293	4,20	1,95	0,670	0,0229	0,351	0,0113	2,20	0,96
100	958	0,598	4,22	2,01	0,681	0,0248	0,279	0,1120	1,73	0,97
125	939	1,30	4,26	2,12	0,687	0,0273	0,220	0,0130	1,36	1,01
150	917	2,55	4,32	2,29	0,687	0,0300	0,181	0,0139	1,14	1,07
200	865	7,86	4,51	2,91	0,665	0,0375	0,134	0,0157	0,91	1,22
250	799	19,98	4,87	3,94	0,616	0,0495	0,107	0,0175	0,85	1,39
300	712	46,19	5,65	6,18	0,541	0,0720	0,085	0,0198	0,89	1,70

## ANEXO K

### DIVERSOS PODERES CALORÍFICOS DE LOS MATERIALES

Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas					
Tipo de combustible		PCI (G.J/t)	PCI (kWh/Kg)	PCI (kcal/Kg)	PCI (tep/t)
Petróleo y productos petrolíferos	Petróleo Bruto	42,55	11,82	10.190	1,0190
	Materias primas de refinería	39,88	11,08	9.550	0,9550
	GLP	45,89	12,75	10.990	1,0990
	Propano	48,20	12,83	11.063	1,1063
	Butano	44,78	12,44	10.723	1,0723
	Queroseno	42,89	11,91	10.270	1,0270
	Gasolina	43,89	12,19	10.510	1,0510
	Gasolina aviación	43,89	12,19	10.510	1,0510
	Gasóleo automoción	42,47	11,80	10.170	1,0170
	Otros gasóleos	42,47	11,80	10.170	1,0170
	Fuelóleo	39,88	11,08	9.550	0,9550
	Alquitrán	39,88	11,08	9.550	0,9550
	Nafta	43,89	12,19	10.510	1,0510
	Lubricantes	39,88	11,08	9.550	0,9550
	Coque de petróleo	31,90	8,86	7.640	0,7640
Gases	GNL	45,10	12,53	10.800	1,0800
	Gas natural				
	Metano	50,00	13,89	11.973	1,1973
	Etano	47,51	13,20	11.350	1,1350
	Gas de refinería	49,36	13,71	11.820	1,1820
	Gas de coquería				
	Gas de alto horno				
	Biogases en general				
	Biogás pobre				
	Biogás de vertedero				
Biogás de depuradora					
Carbones	Antracita eléctrica	19,23	5,34	4.594	0,4594
	Antracita industrial	24,40	6,78	5.829	0,5829
	Antracita otros sectores de consumo final	26,10	7,25	6.235	0,6235
	Hulla eléctrica	22,60	6,28	5.399	0,5399
	Hulla coquizable	29,55	8,21	7.059	0,7059
	Hulla altos hornos	26,20	7,28	6.259	0,6259
	Hulla industrial	24,10	6,69	5.757	0,5757
	Hulla otros sectores de consumo final	26,86	7,46	6.417	0,6417
	Carbón subbituminoso	13,37	3,71	3.194	0,3194
	Lignito	13,34	3,71	3.195	0,3195
	Coque de coquería	26,80	3,71	3.195	0,3195
	Alquitrán de hulla	38,00	3,71	3.195	0,3195
	Biomasa en general	14,12	3,92	3.382	0,3382
	Leña y ramas	15,87	4,41	3.800	0,3800
	Leñas tallares	10,44	2,90	2.500	0,2500
Leñas de podas	10,44	2,90	2.500	0,2500	
Leñas de olivos y cultivos agrícolas	10,44	2,90	2.500	0,2500	
Serrines y virutas	15,79	4,38	3.780	0,3780	
Cortezas	15,24	4,23	3.650	0,3650	
Astilla de pino triturada (Humedad <20%)	15,07	4,19	3.608	0,3608	
Residuos de poda	15,66	4,35	3.750	0,3750	
Otros residuos forestales	13,82	3,84	3.310	0,3310	
Biomasa de la industria forestal	14,60	4,06	3.497	0,3497	
Biomasa agrícola	12,53	3,48	3.000	0,3000	
Sarmientos de vid	13,70	3,80	3.280	0,3280	
Ramilla de uva	12,32	3,42	2.950	0,2950	
Hueso de aceituna	16,12	4,48	3.860	0,3860	
Orujillo	15,79	4,38	3.780	0,3780	
Orujo de uva	13,53	3,76	3.240	0,3240	
Cáscara de frutos secos	15,49	4,30	3.710	0,3710	
Cáscara de cereales	13,15	3,65	3.150	0,3150	
Cáscara de almendra (Humedad <20%)	15,90	4,42	3.808	0,3808	
Paja de cereales	13,20	3,67	3.160	0,3160	
Zuro de maíz (Humedad <25%)	16,24	4,51	3.888	0,3888	
Otros residuos agrícolas	13,82	3,84	3.310	0,3310	
Poso de café	27,14	7,54	6.500	0,6500	
Marro de café	25,06	6,96	6.000	0,6000	
Residuo molinda de café	8,14	2,26	1.950	0,1950	
Pellets en general	16,45	4,57	3.940	0,3940	
Pellet de madera (Humedad <15%)	18,04	5,01	4.319	0,4319	
Carbón vegetal	15,87	4,41	3.800	0,3800	
Biocarburantes	Bioetanol	26,93	7,48	6.449	0,6449
	Biodiesel	36,90	10,25	8.837	0,8837

## ANEXO L

### NORMA ASME SECCIÓN II TABLA A1

ASME BPVC.II.D.M-2019

**Table 1A (Cont'd)**  
**Section I; Section III, Classes 2 and 3;\* Section VIII, Division 1; and Section XII**  
**Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials**  
**(\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)**

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type/Grade	Alloy		Size/ Thickness, mm	P-No.	Group No.
					Desig./ UNS No.	Class/ Condition/ Temper			
(19) 1	9Cr-1Mo-V	Smls. tube	SA-213	T91	K90901	...	...	15E	1
(19) 2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
(19) 3	9Cr-1Mo-V	Fittings	SA-234	WP91	K90901	...	...	15E	1
(19) 4	...	...	...	...	...	...	...	...	...
(19) 5	9Cr-1Mo-V	Smls. pipe	SA-335	P91	K90901	...	$t \leq 75$	15E	1
(19) 6	9Cr-1Mo-V	Smls. pipe	SA-335	P91	K90901	...	$t > 75$	15E	1
(19) 7	...	...	...	...	...	...	...	...	...
(19) 8	9Cr-1Mo-V	Forged pipe	SA-369	FP91	K90901	...	...	15E	1
(19) 9	...	...	...	...	...	...	...	...	...
(19) 10	9Cr-1Mo-V	Plate	SA-387	91	K90901	2	$t \leq 75$	15E	1
(19) 11	9Cr-1Mo-V	Plate	SA-387	91	K90901	2	$t > 75$	15E	1
(19) 12	9Cr-1Mo-V	Forgings	SA-182	F91	K90901	...	$t \leq 75$	15E	1
(19) 13	9Cr-1Mo-V	Forgings	SA-182	F91	K90901	...	$t > 75$	15E	1
(19) 14	9Cr-1Mo-V	Forgings	SA-336	F91	K90901	...	...	15E	1
15	11Cr-Ti	Plate	SA-240	...	S40910	...	...	7	1
16	11Cr-Ti	Plate	SA-240	...	S40920	...	...	7	1
17	11Cr-Ti	Plate	SA-240	...	S40930	...	...	7	1
18	11Cr-Ti	Wld. tube	SA-268	TP409	S40900	...	...	7	1
19	11Cr-Ti	Smls. tube	SA-268	TP409	S40900	...	...	7	1
20	12Cr	Plate	SA-1010	40	S41003	...	$t \leq 19$	7	1
21	12Cr	Bar	SA-479	403	S40300	A	...	6	1
22	12Cr	Bar	SA-479	403	S40300	1	...	6	1
23	12Cr	Plate	SA-1010	50	S41003	...	$t \leq 19$	7	1
24	12Cr-Al	Bar	SA/JIS G4303	SUS405	...	...	...	7	1
25	12Cr-Al	Plate	SA-240	405	S40500	...	...	7	1
26	12Cr-Al	Plate	SA-240	405	S40500	...	...	7	1
27	12Cr-Al	Bar	SA-479	405	S40500	...	...	7	1
28	12Cr-Al	Smls. & wld. tube	SA-268	TP405	S40500	...	...	7	1
29	12Cr-Al	Wld. tube	SA-268	TP405	S40500	...	...	7	1
30	12Cr-Ti	Wld. tube	SA-268	...	S40800	A	...	7	1
31	12Cr-Ti	Smls. tube	SA-268	...	S40800	...	...	7	1
32	13Cr	Plate	SA-240	410S	S41008	...	...	7	1
33	13Cr	Smls. & wld. tube	SA-268	TP410	S41000	...	...	6	1
34	13Cr	Wld. tube	SA-268	TP410	S41000	...	...	6	1
35	13Cr	Plate	SA-240	410	S41000	...	...	6	1
36	13Cr	Forgings	SA-182	F6a	S41000	1	...	6	1
37	13Cr	Bar	SA-479	410	S41000	...	...	6	1
38	13Cr	Bar	SA-479	410	S41000	A	...	6	1
39	13Cr	Bar	SA-479	410	S41000	1	...	6	1
40	13Cr	Forgings	SA-182	F6a	S41000	2	...	6	3
41	13Cr	Castings	SA-217	CA15	J91150	...	...	6	3
42	13Cr	Cast pipe	SA-426	CPCA15	J91150	...	...	6	3
43	13Cr	Bar	SA/EN 10088-3	X12Cr13	...	QT650	$t \leq 160$	...	...
44	13Cr-4Ni	Castings	SA-487	CA6NM	J91540	A	...	6	4
45	13Cr-4Ni	Forgings	SA-182	F6NM	S41500	...	...	6	4

**Table 1A (Cont'd)**  
**Section I; Section III, Classes 2 and 3;\* Section VIII, Division 1; and Section XII**  
**Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials**  
 (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)


Line No.	Min. Tensile Strength, MPa	Min. Yield Strength, MPa	Applicability and Max. Temperature Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only)				External Pressure Chart No.	Notes
			I	III	VIII-1	XII		
1	585	415	649	371	649	NP	CS-3	T6
2	...	...	...	...	...	...	...	...
3	585	415	649	NP	NP	NP	CS-3	T6
4	...	...	...	...	...	...	...	...
5	585	415	649	371	649	NP	CS-3	T6
6	585	415	649	NP	649	NP	CS-3	T6
7	...	...	...	...	...	...	...	...
8	585	415	649	NP	NP	NP	CS-3	T6
9	...	...	...	...	...	...	...	...
10	585	415	649	371	649	NP	CS-3	T6
11	585	415	649	NP	649	NP	CS-3	T6
12	620	415	649	371	649	NP	CS-3	T6
13	620	415	649	NP	649	NP	CS-3	T6
14	620	415	649	NP	649	NP	CS-3	T6
15	380	170	NP	NP	427	NP	CS-1	...
16	380	170	NP	NP	427	NP	CS-1	...
17	380	170	NP	NP	427	NP	CS-1	...
18	380	170	NP	NP	427	343	CS-1	G24
19	380	170	NP	NP	427	343	CS-1	...
20	455	275	NP	NP	316	316	CS-2	...
21	485	275	NP	371	NP	NP	...	...
22	485	275	NP	371	NP	NP	...	...
23	485	345	NP	NP	316	316	CS-3	...
24	410	174	NP	371	538	NP	CS-1	G19, T5
25	415	170	371	NP	538	343	CS-1	G19, T5
26	415	170	NP	371	NP	NP	CS-1	G19
27	415	170	NP	371	538	343	CS-1	G19, T5
28	415	205	371	NP	538	343	CS-2	G19, T5, W13, W14
29	415	205	371	NP	538	343	CS-2	G3, G19, G24, T5
30	380	205	NP	NP	427	343	CS-2	G19, W14
31	380	205	NP	NP	427	343	CS-2	G19
32	415	205	NP	371	649	343	CS-2	T4
33	415	205	371	NP	649	343	CS-2	T4, W13, W14
34	415	205	371	NP	649	343	CS-2	G3, G24, T4
35	450	205	NP	NP	649	343	CS-2	T4
36	485	275	NP	371	538	343	CS-2	T4
37	485	275	NP	NP	538	343	CS-2	G22, T4
38	485	275	NP	371	NP	NP	CS-2	...
39	485	275	371	371	NP	NP	CS-2	...
40	585	380	NP	371	649	343	CS-3	T3
41	620	450	NP	371	649	343	CS-5	G1, G17, T3
42	620	450	NP	371	NP	NP	CS-5	G17
43	650	450	NP	371 (SPT)	NP	NP	...	H3, W1
44	760	550	NP	371	427	343	CS-5	G1, G17
45	795	620	NP	371	NP	NP	CS-3	G17

**Table 1A (Cont'd)**  
**Section I; Section III, Classes 2 and 3;\* Section VIII, Division 1; and Section XII**  
**Maximum Allowable Stress Values, S, for Ferrous Materials**  
 (\*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, MPa (Multiply by 1000 to Obtain kPa), for Metal Temperature, °C, Not Exceeding																	
	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900	
1	126	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
3	126	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
5	126	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
6	126	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
8	126	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
9	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
10	126	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
11	126	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
12	133	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
13	133	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
14	133	117	98.5	75.5	54.3	36.8	24.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	(19)
15	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
17	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
18	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
19	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
21	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
22	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
23	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
24	67.3	41.9	14.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
25	67.3	41.9	14.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
26	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
27	67.3	41.9	14.1	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
28	70.6	40.9	14.5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
29	59.8	34.6	12.4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
31	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
32	69.7	50.7	37.9	26.4	18.0	11.6	6.68	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
33	69.7	50.7	37.9	26.4	18.0	11.6	6.68	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
34	60.0	42.8	31.9	22.4	15.5	9.59	5.69	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
35	69.2	50.9	37.8	26.4	18.0	11.6	6.68	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
36	68.4	51.3	37.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
37	68.4	51.3	37.0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
38	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
39	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
40	68.0	51.3	37.7	26.4	17.9	11.6	6.68	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
41	60.1	42.0	28.6	19.8	13.8	9.81	6.76	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
42	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
43	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
44	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
45	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

## ANEXO M

### PROPIEDADES DEL MATERIAL AISLANTE

REF. TELA DE CERÁMICA	REF. CERAMIC FABRIC
 <p><b>DESCRIPCIÓN:</b> Hilos de fibra cerámica (no asbesto) reforzados con inserción metálica, son entrelazados para conformar el tejido cerámica, las fibras con inserción ofrecen gran resistencia térmica y mecánica al tejido con mayor resistencia a la presión y al desgarre.</p> <p><b>APLICACIONES:</b> Se aplica en todo tipo de procesos donde las altas temperaturas son el factor crítico tales como hornos, chimeneas, fabricación de juntas de dilatación, protectores de cilindros, empaquetaduras para flanches no estándar, etc; es capaz de soportar ambientes reductores y oxidantes a excepción de álcalis concentrados, ácidos fluorhídricos y fosfóricos.</p> <p><b>ESPECIFICACIONES: CARACTERÍSTICAS:</b>          Espesores: 1/16"      Densidad lineal (yd/lb) 240 - 600          Peso kg/mt: 1.05      Resistencia tensil min, lbs 10          Ancho (mts): 1.0      Elongación % 10          Metros/Rollo: 30          Temperatura°C: 700°C</p>	<p><b>DESCRIPTION:</b> Ceramic fiber yarns (non-asbestos) reinforced with metal insert, the fibers with insert offer great thermal and mechanical resistance to the fabric with greater resistance to pressure and tear.</p> <p><b>APPLICATIONS:</b> It is applied in all types of processes where high temperatures are the critical factor such as furnaces, chimneys, manufacture of expansion joints, cylinder protectors, gaskets for non-standard flanges, etc; It is capable of withstanding reducing and oxidizing environments with the exception of concentrated alkalis, hydrofluoric and phosphoric acids.</p> <p><b>SPECIFICATIONS: CHARACTERISTICS:</b>          Thicknesses: 1/16 "      Linear density (yd / lb) 240 - 600          Weight kg / mt: 1.05      Ten tensile strength, 10 lbs          Width (mts): 1.0      Elongation% 10          Meters / Roll: 30          Temperature ° C: 700 ° C</p>

## ANEXO N

### COSTOS DE MANUFACTURA POR CADA HORA

No.	Nombre del dispositivo	Número de modelo	Rango de procesamiento	Costos de procesamiento (\$/h)
1	Torno	C616	Φ320×750~1000	1.76
2	Torno	C6140	Φ400×1000~2000	2.08
3	Torno	J1-MAZAK	Φ460×1000~2000	2.4
4	Torno	C6150	Φ460×1000~2000	2.4
5	Torno	C630	Φ630×1000~2000	3.36
6	Torno	C650	Φ800×1500~5000	4.8
7	Torno vertical	C5116A	Φ1600	4.48

8	Perforadora radial	Z3050	$\Phi 50\sim\Phi 63$	2.56
9	Perforadora radial	Z3080	$\Phi 80$	3.2
10	Perforadora vertical	Z5140A	$\Phi 32\sim\Phi 40$	1.92
11	Máquina perforadora horizontal	T68	1000×1000	4.16
12	Máquina perforadora horizontal	T611	1000×1000	4.8
13	Máquina de perforación vertical	T4163	630×1100	8.96
14	Máquina perforadora horizontal	T6111A	1200×1200	5.76
15	Máquina circular universal	M1420	$\Phi 125\sim 220\times 350\sim 1000$	2.4
16	Máquina circular universal	M1432A	M9025×500~1000	3.04
17	Máquina circular universal	M1432B	$\Phi 315\sim 320\times 1500\sim 3000$	4.16

18	Máquina circular universal	M1331A	$\Phi 315 \sim 320 \times 1500 \sim 3000$	4.16
19	Máquina circular universal	M1450	$\Phi 500 \times 1500 \sim 2000$	4.48
20	Precisión máquina circular universal	MG1432	$\Phi 320 \times 1000 \sim 2000$	5.12
21	Máquina de pulir interna	MG1432	$\Phi 12 \sim \Phi 100 \times 130$	2.08
22	Amoladora de superficie	M7120	$200 \times 630 \sim 650$	2.56
23	Amoladora de superficie	M7130	$300 \times 1000$	3.36
24	Amoladora de superficie	M7150	$500 \times 2000$	6.4
25	Amoladora de la guía	M50100	$1000 \times 6000$	4.48
26	Rectificadora Spline	M8612A	$\Phi 120 \times 1800$	4.48
27	Rectificadora de hilo	Y7520W	$\Phi 200 \times 500$	3.2
28	Rectificadora de engranajes	Y4632A	$\Phi 320 \times 6M$	4.8

29	Máquina rectificadora de herramientas universal	M5MC	Φ200×500	2.08
30	Máquina rectificadora de herramientas universal	MW6020	Φ200×500	2.08
31	Máquina rectificadora de herramientas universal	M9025	Φ200×650	2.56
32	Máquina rectificadora de herramientas universal	M6025H	Φ250×650	2.56
33	Máquina rectificadora de herramientas universal	M6425	Φ250×650	2.56
34	Brocha de brocha	M6110D	Φ100×1500~1700	2.56

35	Máquina de fresado de engranajes	YM3150E	Φ500×8M	3.52
36	Estante de barras	YM5150B	Φ500×8M	2.88
37	Fresadora vertical	X5030A	Φ300×1120	2.56
38	Fresadora vertical	X52K	Φ320×1250	2.88
39	Fresadora vertical	XA5032	Φ320×1250	2.88
40	Fresadora horizontal	X63W	Φ400×1600	3.84
41	Fresadora cama	XS5646/1	Φ425×2000	4.48
42	Máquina de modelado	B665	650×800	2.24
43	Máquina de modelado	B650	650×800	1.76
44	Planes hidráulicos	BY60100	900~1000	2.56
45	Planes hidráulicos	B690	900~1000	2.56
46	Planes marco	B2016A	900~1000	4.48

47	Planes marco	B2020A	2000~6000	8
48	Cama de varilla	B5032	200~320	1.92
49	Brochadora	L6140	40T	2.4
50	Ajustador de línea		Φ200×650	2.4
51	Ensamblador		Φ200×650	4.8
52	Moldeador		Φ200×650	4.8
53	Centro de mecanizado		Φ200×650	12.8
54	Corte de alambre		Φ200×650	1.44
55	Cuchillo de soldadura		Φ200×650	1.12

## ANEXO O

### RESISTIVIDAD Y COEFICIENTES DE TEMPERATURAS PARA DIVERSOS MATERIALES

*Tabla:* resistividad y coeficientes de temperatura

MATERIAL	RESISTIVIDAD A 20 °C $\rho$ ( $\Omega$ -m)	COEFICIENTE DE TEMPERATURA $\alpha$ (1/°C)
Plata	$1.6 \times 10^{-8}$	$3.8 \times 10^{-3}$
Cobre	$1.7 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Aluminio	$2.8 \times 10^{-8}$	$3.9 \times 10^{-3}$
Tungsteno	$5.5 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$
Hierro	$10 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-3}$
Plomo	$22 \times 10^{-8}$	$4.3 \times 10^{-3}$
Mercurio	$96 \times 10^{-8}$	$0.9 \times 10^{-3}$
Nícrón	$100 \times 10^{-8}$	$0.4 \times 10^{-3}$
Carbono	$35000 \times 10^{-8}$	$-0.5 \times 10^{-3}$
Germanio	0.45	$-48 \times 10^{-3}$
Silicio	640	$-75 \times 10^{-3}$
Madera	$10^8$ - $10^{14}$	-
Vidrio	$10^{10}$ - $10^{14}$	-
Goma dura	$10^{13}$ - $10^{16}$	-
Ambar	$5 \times 10^{14}$	-
Azufre	$10^{15}$	-