

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil Industrial



**RENOVACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL TIPO CALDERA COMO UNA
MEDIDA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL HOSPITAL
CLORINDA AVELLO SANTA JUANA**

JOSELYN MARGARITA FARRÚ PARRA

**INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
INDUSTRIAL**

Profesor Guía: Ana Narváez Dinamarca

Profesor Informante: Gonzalo Bordagaray

Concepción, 12 de Octubre 2016

Agradecimientos

Agradezco de todo corazón a **Dios** quien en todos estos años de mi carrera ha estado a mi lado y me ha dado la inteligencia y el valor para seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mi adorada madre **Carmen Parra** por siempre creer en mí y alentarme en cada momento además de mi padre **Julio Farrú** hermano **Leonel Farrú** y abuela **Fresia** por quererme y apoyarme en cada cosa que necesite durante el camino.

A mi pareja **Leonardo Rojas** por el amor y la compañía y a mis siempre incondicionales amigas **Nataly Hidalgo** y **Katherine Cid** por ayudarme siempre y por su alegría.

A los funcionarios del **Hospital Clorinda Avello Santa Juana**. Por facilitarme el trabajo realizado dentro del centro, entregándome todo lo necesario para poder desarrollar mi tema de título.

A don **Juan Carlos Gallegos Saavedra** por ayudarme a tomar la mejor decisión con ayuda de sus conocimientos.

Índice de contenidos

Resumen	ix
Abstract	xi
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.1 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación de la propuesta.....	3
1.4 Delimitación del problema.	4
Capítulo 2: Antecedentes generales	5
2.1 Calefacción y sus sistemas.	5
2.2 Tecnologías de calefacción	6
2.2.1 Caldera y quemador	6
2.2.2 Bombas de calor	7
2.2.3 Otros elementos de generación de calor	8
2.3 Tipos de combustibles	8
2.3.1 Hidrocarburos.....	9
2.3.2 Combustibles Sólidos.....	10
2.4 Calderas.....	11
2.4.1 Calderas pirotubulares	12
2.4.2 Calderas Acuotubulares	14
2.4.3 Calderas de tipo serpentín	14
2.4.4 Calderas de biomasa	15
2.5 Eficiencia energética.....	16
2.6 Desarrollo de la eficiencia energética en Chile.....	16
Capítulo 3: Metodología	18
3.1 Objetivo específico 1	18
3.1.1 Recopilación de información.....	18
3.1.2 Cálculo de la oferta energética total de la caldera actual.....	19
3.1.3 Cálculo de la demanda energética total para calefaccionar	19
3.1.4 Cálculo de la potencia total requerida para calefaccionar.....	24
3.2 Objetivo específico 2	25
3.2.1 Matriz de alternativas para el sistema de calefacción	25

3.2.2	Análisis multicriterio en la toma de decisiones	25
3.3	Objetivo específico 3	27
3.3.1	Cálculo de los indicadores económicos valor actual de costos (VAC) y costo anual equivalente (CAE)	27
3.3.2	Análisis de sensibilidad de los combustibles	28
Capítulo 4:	Estructuras a calefaccionar y caldera actual.....	29
4.1	Hospital Clorinda Avello Santa Juana	29
4.2	Datos climatológicos de la zona	30
4.3	Descripción y características de cada estructura	30
4.4	Características de la caldera actual.....	32
4.5	Potencia actual requerida para calefaccionar	39
4.5.1	Potencia de la caldera utilizando aserrín como combustible.....	39
4.5.2	Potencia de la caldera utilizando pellets como combustible	41
Capítulo 5:	Cálculo de la demanda energética y potencia requerida.....	43
5.1	Características constructivas de los cerramientos	43
5.2	Determinación de las pérdidas de calor por transmisión	44
5.2.1	Temperatura exterior e interior.....	44
5.2.2	Valores de resistencia térmica superficiales.....	45
5.2.3	Coefficientes de conductividad térmica	46
5.2.4	Cálculo de los coeficientes de transmisión de los cerramientos	47
5.3	Determinación de las pérdidas de calor por infiltración de aire	53
5.3.1	Método de infiltración por fisuras	53
5.4	Determinación de las pérdidas de calor por suplementos.....	57
5.4.1	Suplemento por orientación (S_1).....	58
5.4.2	Suplemento por interrupción de servicio (S_2)	59
5.4.3	Suplemento por pared fría (S_3).....	60
5.5	Demanda calórica total para calefaccionar	62
5.6	Cálculo de la potencia requerida	63
Capítulo 6:	Alternativas para renovar la caldera	64
6.1	Matriz de alternativas.....	64
6.2	Análisis de las alternativas	68
6.2.1	Meta general del problema	68
6.2.2	Alternativas	68
6.2.3	Criterios a emplear en la toma de decisiones	69
6.2.4	Asignación de la ponderación para cada uno de los criterios	70
6.2.5	Establecer el rating de satisfacción para cada alternativa	71
6.2.6	Calcular el score para cada una de las alternativas.....	72
6.2.7	Orden de las alternativas en función del Scoring	73

Capítulo 7: Análisis económico.....	74
7.1 Datos económicos de la caldera actual	74
7.2 Análisis económico de las alternativas.	78
7.3 Análisis de sensibilidad sobre los combustibles.....	81
Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones	85
8.1 Conclusiones	85
8.2 Recomendaciones	86
Bibliografía.....	88
Anexo 1:	90
Tablas de cálculo del Coeficiente de conductividad térmica.....	90
Anexo 2:	93
Tablas de cálculo de Pérdidas de calor y potencia total requerida para calefaccionar.....	93
Anexo 3:	100
Cotizaciones de calderas a gas, pellets y fuel	100
3.1 Certificado de Don Juan Carlos Gallegos Saavedra.	101
3.2 Caldera BOSCH a gas licuado.	103
3.3 Caldera BOSCH a diésel.	106
3.4 Caldera PASQUALICCHIO a pellet	107
Anexo 4:	111
Alternativas para renovar la caldera actual.....	111
4.1 Marco legal aplicado.....	112
Anexo 5:	114
Análisis económico	114
5.1 Información sobre la tasa de descuento.	115
5.2 Información sobre la vida útil.	116

Índice de figuras

Figura 1: Sistema de calefacción individual y central	5
Figura 2: Sistema de calefacción central.....	6
Figura 3: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.....	7
Figura 4: Hidrocarburos de la matriz primaria.....	9
Figura 5: Combustibles sólidos utilizados para calefaccionar.....	10
Figura 6: Caldera pirotubular.....	12
Figura 7: Caldera pirotubular de múltiples pasos.....	13
Figura 8: Caldera moderna de cámara empaquetada de tres pasos.....	13
Figura 9: Caldera acuotubular.....	14
Figura 10: Caldera de tipo serpentín.....	15
Figura 11: Caldera de pellet automática.....	16
Figura 12: Hospital San Juan de Dios y Hospital Dr. Hernán Henríquez Aravena.....	17
Figura 13: Hospital Clorinda Avello Santa Juana.....	29
Figura 14: Dimensiones de la figura que cubre el pabellón geriátrico.....	30
Figura 15: Dimensiones de la figura que cubre al hospital.....	31
Figura 16: Dimensiones de la figura que cubre la sala cuna.....	32
Figura 17: Caldera actual y estructura de alimentación de combustible.....	34
Figura 18: Chimenea de la caldera.....	35
Figura 19: Bombas de inyección y estanque de condensado.....	36
Figura 20: Estanque de acumulación de agua.....	36
Figura 21: Silbín.....	37
Figura 22: Llaves de paso para calefacción y lavandera.....	38
Figura 23: Estanque de acumulación de agua.....	38
Figura 24: Aserrín almacenado en bodega del hospital.....	40
Figura 25: Pellet almacenado en la bodega de la caldera.....	42
Figura 26: Análisis de sensibilidad sobre el combustible gas licuado.....	81
Figura 27: Análisis de sensibilidad sobre el combustible petróleo.....	82
Figura 28: Análisis de sensibilidad sobre el combustible pellet.....	82
Figura 29: análisis de sensibilidad sobre los tres combustibles.....	83
Figura 30: Certificado vitalicio de operador de calderas de vapor de baja mediana y alta presión.....	102
Figura 31: Cotización caldera de vapor Bosch.....	103
Figura 32: Resumen de precio, caldera bosch a gas licuado.....	104
Figura 33: Datos técnicos, caldera bosch a gas licuado.....	104
Figura 34: Dimensiones, caldera bosch a gas licuado.....	105

Figura 35: Resumen de precio, caldea bosch a diésel.....	106
Figura 36: Datos técnicos, caldera bosch a diésel.	106
Figura 37: Caldera marina CSB modelo de 25 a 5.000 KW.	107
Figura 38: Precios caldera Pasqualicchio marina CSB.....	108
Figura 39: Accesorios para caldera Pasqualicchio.	109
Figura 40: Información técnica de caldera Pasqualicchio.....	110
Figura 41: Tasa de interés promedio del sistema bancario.	115
figura 42: vida útil contable en Sistema de Impuestos Internos del sector energético	116

Índice de tablas

Tabla 1: Características de la caldera actual.	33
Tabla 2: Poder calorífico del aserrín.....	40
Tabla 3: Poder calorífico del aserrín.....	42
Tabla 4: Poder calorífico del pellet.....	45
Tabla 5: Resistencias superficiales de cerramientos.....	46
Tabla 6: Coeficientes de conductividad térmica.....	46
Tabla 7: Coeficiente de conductividad térmica.	48
Tabla 8: Pérdidas de calor por transmisión del pabellón geriátrico.....	49
Tabla 9: Pérdidas de calor por transmisión del hospital.	51
Tabla 10: Pérdidas de calor por transmisión para la sala cuna.....	52
Tabla 11: Coeficiente de infiltración expresado en ($m^3/m \cdot h$).	53
Tabla 12: Pérdidas de calor por infiltración de aire para el pabellón geriátrico.....	55
Tabla 13: Pérdidas de calor por infiltración de aire de la sala cuna.	56
Tabla 14: Porcentajes de pérdidas de calor por orientación.....	58
Tabla 15: Permeabilidad térmica del edificio.....	61
Tabla 16: Pérdidas de calor por suplemento del pabellón geriátrico.....	67
Tabla 17: Costos de combustibles considerados.	68
Tabla 18: Costos de combustible considerados.....	69
Tabla 19: Criterios a emplear en la toma de decisiones.....	69
Tabla 20: Criterios a emplear en la toma de decisiones.....	70
Tabla 21: Ponderación de cada uno de los criterios.....	70
Tabla 22: Escala de rating de satisfacción.	71
Tabla 23: Aplicaciones de la escala de rating de satisfacción.....	71
Tabla 24: Aplicación del cálculo Scoring.	73
Tabla 25: Costos en mantención de la caldera actual del año 2011 al 2015.	74

Tabla 26: Sueldo de los operarios de la caldera actual.	75
Tabla 27: Producción total en KW en temporada de invierno.	76
Tabla 28: Costo anual por compras de aserrín del año 2011 al 2014.	76
Tabla 29: Costo en el año 2015 en combustibles.	77
Tabla 30: Costo total anual de la caldera actual desde el año 2012 al 2015.	78
Tabla 31: Datos económicos de cada alternativa para reemplazar a la caldera actual.	79
Tabla 32: Cálculo de VAC y CAE.....	80
Tabla 35: Tipos de cerramientos y coeficientes de conductividad térmica.	91
Tabla 36: Coeficientes de conductividad térmica.....	92
Tabla 33: Valores de resistencia térmica.	92
Tabla 37: Total de pérdidas de calor por transmisión y ventilación del pabellón geriátrico.	94
Tabla 38: Total de pérdidas de calor por transmisión y ventilación de la sala cuna.	94
Tabla 39: Total de pérdidas de calor por transmisión del hospital.	95
Tabla 40: Pérdidas totales por transmisión, ventilación y suplementos de todas las estructuras.....	99
Tabla 41: Factores de emisión en Chile para combustibles.	113

Resumen

El hospital Clorinda Avello Santa Juana se ve en la necesidad de evaluar alternativas para renovar su actual sistema de calefacción el cual consiste en una caldera alimentada por combustible biomasa del tipo aserrín, la razón de esto es un creciente aumento en los costos de mantención y combustible.

Es por ello que la finalidad del proyecto consiste en evaluar técnica y económicamente el reemplazo de la caldera actual por una nueva, todo esto con el fin de obtener un beneficio económico, donde además se produzca un ahorro y una mejor eficiencia en el uso de la calefacción. En primer lugar, se hizo un estudio de la oferta energética de la caldera actual y de la demanda en calefacción, agua caliente sanitaria y vapor para lavandería presentes en el sistema hospitalario. Posteriormente considerando los cálculos realizados se determinó cuáles eran las características que se debían considerar al momento de elegir una caldera con las cuales se generó una matriz de alternativas. Finalmente, un análisis técnico utilizando el método de decisión *Scoring* y un análisis económico mediante el cálculo de indicadores financieros para cambio de equipo VAC (valor actual de costos) y CAE (costo anual equivalente) permitirán evaluar cuál es la mejor alternativa.

Para la matriz de alternativas se consideraron tres tipos de calderas, una caldera de vapor bosch modelo U-HD a gas licuado, una caldera de vapor bosch modelo UL-S a petróleo y una caldera de vapor Pasqualicchio a pellet.

El análisis técnico utilizando el método de decisión *Scoring* dio como resultado que la alternativa con mayor ponderación era aquella que considera el cambio de la caldera actual por una caldera Pasqualicchio que utiliza como combustible el pellet.

El análisis económico considero la evaluación de las tres alternativas antes mencionadas, donde para la caldera a vapor bosch modelo U-HD a gas licuado se obtiene un VAC de \$ 851.510.491 y un CAE de \$ 116.791.724,14, para la caldera a vapor bosch modelo UL-S a petróleo se obtiene un VAC de \$ 2.562.036.890 y un CAE de \$ 351.404.602,76 ya para la

caldera a vapor Pasqualicchio a pellet se obtiene un VAC \$ 2.034.321.256 de y un CAE de \$ 2.79.024.028. De estas alternativas la caldera a vapor bosch modelo U-HD a gas licuado es la mejor ya que tiene un valor actual de costos y un costo anual equivalente menor a las demás calderas evaluadas.

Abstract

The Clorinda Avello Santa Juana hospital is in the need to evaluate alternatives to renew its current heating system which consists of a boiler fueled by a biomass sawdust type of fuel, the reason for this is a growing increase in maintenance costs and fuel.

That is why the purpose of the project is to technically and economically evaluate the replacement of the existing boiler with a new one, all this in order to obtain economic benefit, where further savings and improved efficiency of heating occurs. First, a study of the current energy supply and demand boiler heating, hot water and steam laundry present in the hospital system was made. Later considering the calculations that were made it was determined what were the characteristics that should be considered at the moment of choosing a boiler with which an array of alternatives was generated. Finally, technical analysis using the method of decision Scoring and an economic analysis by calculating financial indicators for equipment change VAC (present value of costs) and CAE (annual cost equivalent) will allow to assess what is the best alternative.

For the array of alternatives three types of boilers, steam boiler bosch model U-HD liquefied gas, a steam boiler bosch model UL-S petroleum and a steam boiler pellet Pasqualicchio were considered.

Technical analysis using the method of scoring decision resulted that the higher alternative was one that considers the change of the current boiler with a boiler Pasqualicchio using pellets as fuel.

Economic analysis consider the evaluation of the above three alternatives, which for the steam boiler bosch model U-HD liquefied gas by VAC \$ 851,510,491 and \$ 116,791,724.14 CAE is obtained, for the steam boiler bosch model UL-S petroleum a VAC of \$ 2,562,036,890 and \$ 351,404,602.76 CAE is obtained and for steam boiler pellet Pasqualicchio its obtained a \$ 2,034,321,256 of VAC and CAE \$ 2.79.024.028. Of these

alternatives the steam boiler bosch model U-HD liquefied gas is the best because it has a present value of costs and an annual equivalent cost less than other boilers evaluated.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

“Un objetivo fundamental en un espacio habitable es asegurar el bienestar térmico de sus ocupantes, con una demanda energética compatible con las actividades desarrolladas al interior del mismo.” (Vera, 2002, p.133).

Los hospitales cuentan con enormes calderas que utilizan diferentes tipos de combustibles, los cuales no son siempre amigables con el medio ambiente, es por esta razón que actualmente en Chile se trabaja para cambiar esta situación mediante proyectos dirigidos por la ACCHE (Agencia chilena de la eficiencia energética). Los cuales permiten utilizar combustibles que generen menos emisiones tóxicas.

El hospital Clorinda Avello Santa Juana cuenta con una caldera Igneotubular modificada para el uso de pellet y aserrín como combustibles, esta caldera debido a su antigüedad actualmente no está respondiendo a los requerimientos del hospital, es por esto que se realizará el siguiente estudio con el fin de encontrar una caldera que se adecue a estas nuevas necesidades.

El siguiente estudio permitirá calcular la oferta de la caldera actual y la demanda en calefacción requerida actualmente junto con la potencia requerida para calentar agua sanitaria y para el funcionamiento de lavandería.

Se realizará una evaluación técnica que permita considerar una mejora en la eficiencia energética mediante un estudio de emisiones de contaminante de cada una de las alternativas.

La evaluación económica considerando los indicadores para un cambio de equipo VAC y CAE arrojará una visión más clara de cuál de las alternativas será la más rentable al momento de invertir en una caldera nueva.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar las especificaciones de una caldera que cumpla los requerimientos para calefaccionar considerando para ello criterios de eficiencia energética.

1.2.1 Objetivos específicos

- Determinar la oferta de la caldera actual del hospital y la demanda actual en calefacción, agua caliente sanitaria y lavandería.

- Evaluar alternativas de tipos de calderas que permitan satisfacer la demanda requerida en calefacción, agua caliente sanitaria y lavandería actuales del hospital.

- Evaluar la factibilidad económica del cambio del sistema de calefacción que además conduzca a una mejora en la eficiencia energética del hospital.

1.3 Justificación de la propuesta.

“La energía es un elemento clave en el desarrollo económico y social, el aumento del consumo de energía, derivado del crecimiento económico y de la tendencia a satisfacer un mayor número de necesidades, hace cada vez más urgente la integración de los aspectos medioambientales y el desarrollo sostenible de la política energética.” (Ministerio de energía, 2015).

El hospital Clorinda Avello Santa Juana se ve en la necesidad de evaluar alternativas tecnológicas para renovar su actual sistema de calefacción el cual consiste en una caldera alimentada por combustible biomasa del tipo aserrín, la razón de esto es un creciente aumento en la demanda energética del recinto hospitalario lo que también deriva en un aumento en los costos.

El crecimiento está directamente relacionado con la actual construcción de nuevos boxes y oficinas y a las ampliaciones futuras del hospital en proyectos que se están generando debido al aumento en la población y las necesidades de éste.

La caldera actual es un sistema muy antiguo de aproximadamente 50 años, por lo que es de esperar que pueda tener fallas y no cuente con la tecnología que actualmente se está usando en ese tipo de sistemas, por lo anterior una caldera moderna podría responder mejor a las necesidades de calefacción del recinto ya que cuentan con sistemas más eficientes que disminuirán los costos asociados.

1.4 Delimitación del problema.

El proyecto se realizará en el hospital Clorinda Avello Santa Juana y la evaluación será realizada sobre el sistema de calefacción, el cual consiste en una caldera, por lo tanto, la búsqueda será de tipos de calderas que puedan satisfacer la demanda actual requerida.

Con respecto a los combustibles se evaluará la posibilidad de seguir usando el combustible actual aserrín con pellet versus otras alternativas que permitan una mayor eficiencia energética y una disminución en los costos.

El siguiente proyecto no evaluará otras alternativas de generación de energía, que son por ejemplo energía producida por paneles solares, térmicos, sistemas eólicos, entre otros.

No hablará de la instalación de la caldera elegida ni cambio de radiadores y en el mantenimiento se considerará el costo de los operarios.

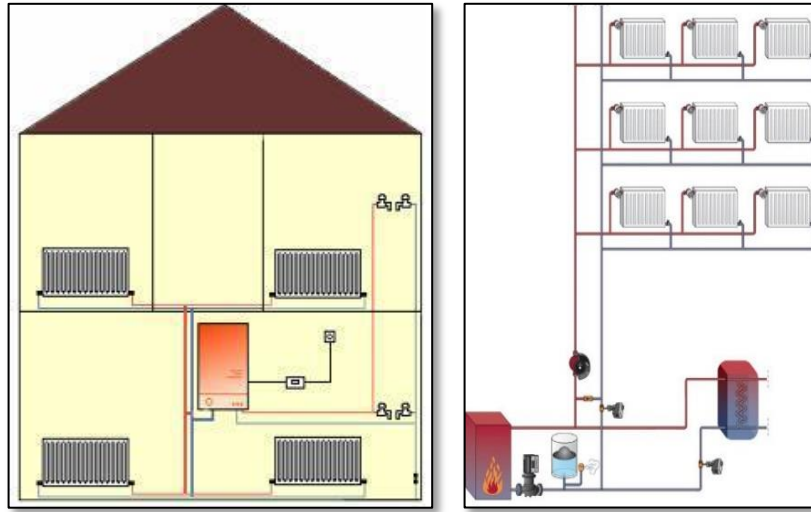
Capítulo 2: Antecedentes generales

2.1 Calefacción y sus sistemas.

“El bienestar térmico es fundamental para proveer un ambiente confortable, diversos estudios definen una zona de confort térmico en la cual el 80% de la población presenta una sensación psicológica de agrado con el ambiente. La frontera que define la zona de confort depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente, velocidad del aire, vestimenta de las personas, y temperatura de las superficies y de los espacios.” (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers).

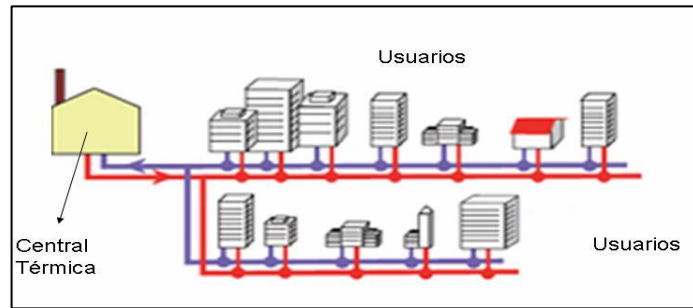
Al momento de elegir una alternativa para calefaccionar es importante considerar el tamaño del área que necesita ser calefaccionada, es decir, estamos considerando una casa, bloques o departamentos o una ciudad completa. Es por esto que existe una clasificación para cada una de estas alternativas. La calefacción individual y la calefacción central que se observan en la figura 1 y calefacción de distrito que se observa en la figura 2.

Figura 1: Sistema de calefacción individual y central



Fuente: Tecmon, 2013.

Figura 2: Sistema de calefacción central.



Fuente: Tecmon, 2013

2.2 Tecnologías de calefacción

Para calefaccionar se requiere de la generación de calor, para lo cual existen diferentes equipos, entre ellos podemos encontrar los siguientes:

2.2.1 Caldera y quemador

Este elemento de calefacción permite generar potencia térmica mediante la combustión de un combustible en el quemador y la cesión del calor producido en la combustión a un medio (agua, aire, vapor, etc.) en la caldera.

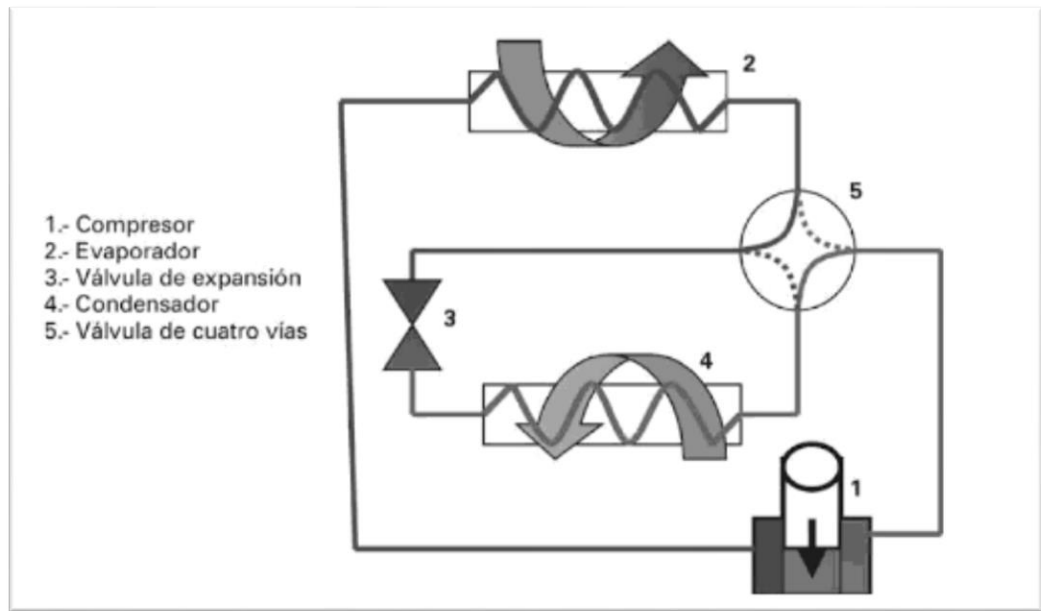
Existen diferentes tipos de calderas que se pueden identificar según:

1. El tipo de quemador: atmosféricas, presurizadas y estancas.
2. Por su hogar: pirotubulares, Acuotubulares y De Serpentin
3. Por su Clasificación energética (Según 92/42/CEE; RD 275/1995): Estándar, Baja Temperatura, Condensación.

2.2.2 Bombas de calor

“Una bomba de calor esencialmente es una máquina termodinámica formada por un circuito frigorífico clásico (compresor, condensador, sistema de expansión, y evaporador) del que se aprovecha la energía calorífica cedida por el condensador (aire caliente o agua caliente que sale del condensador) y no la que absorbe en el evaporador (fuente fría) del aire ambiente o del agua de un pozo o río.” (Rey y Velasco, 2005, p.12). Como se muestra en la figura 3.

Figura 3: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.



Fuente: Rey y Velazco, 2015.

Puede generar de tres a cuatro veces más calor que la calefacción eléctrica convencional por lo que puede usarse en la calefacción de edificios despachos o viviendas.

2.2.3 Otros elementos de generación de calor

Generadores de aire caliente, Estufas, Radiadores radiantes, Radiadores eléctricos, Resistencias eléctricas, las dos últimas no son recomendables por su pequeño rendimiento energético.

2.3 Tipos de combustibles

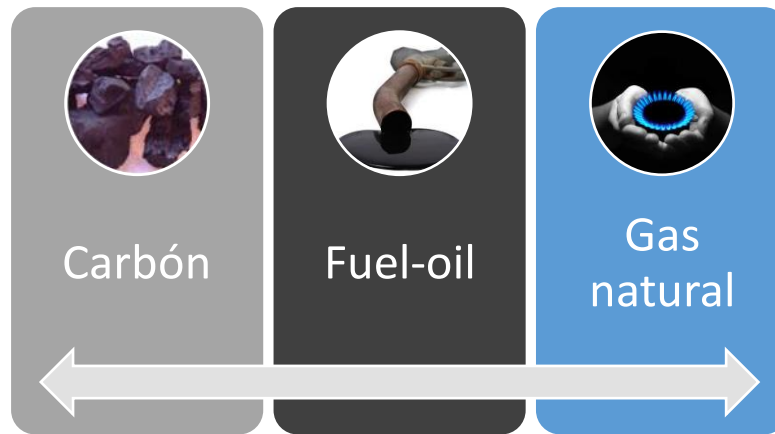
Es cualquier tipo de material que tenga la capacidad de liberar energía, puede presentarse en forma líquida, gaseosa o sólida.

2.3.1 Hidrocarburos

Los hidrocarburos están presentes en la matriz primaria y secundaria derivados de los combustibles fósiles. (ministerio de energía, 2016).

1. La matriz primaria: petróleo crudo, el gas natural, el carbón mineral.
2. La matriz secundaria: los combustibles derivados del petróleo como la gasolina automotriz, el kerosene de aviación y doméstico, el petróleo diésel, los combustibles N°5, N°6 y los IFO's y finalmente al propano y butano también conocido como gas licuado (el cual se obtiene como parte del proceso de refinación petrolera y como condensados del proceso de explotación del gas natural). A ellos también se les suma el gas natural y el carbón mineral

Figura 4: Hidrocarburos de la matriz primaria.



Fuente: Elaboración propia.

2.3.2 Combustibles Sólidos

La leña, combustible utilizado en Chile para calefaccionar la mayor parte en el centro sur del país cuenta con la generación de una política de uso de la leña y sus derivados para calefacción, la cual permitirá un uso eficiente de esta para calefaccionar edificaciones en Chile. (Ministerio de Energía, 2016).

Dado lo anterior la biomasa es una fuente renovable de energía y como tal posibilita la independencia energética del usuario, región o país, respecto a los productores extranjeros de combustibles fósiles, y su uso no contribuye al calentamiento global. De hecho, produce una reducción los niveles atmosféricos de dióxido de carbono. (Sala-Lizarraga, 2002).

Figura 5: Combustibles sólidos utilizados para calefaccionar.



Fuente: Elaboración propia.

2.4 Calderas

En el siglo I se descubrió que el uso del vapor podría generar energía, es por esto que con el tiempo grandes inventores como James Watt mejoran prototipos de máquinas iniciales para convertirlas finalmente en calderas a vapor.

“El avance de las industrias a utilizado estas calderas de manera significativa para los procesos de transferencia de calor cuyo objetivo es generar vapor mediante una combustión.” (Shiels,1965, p.6).

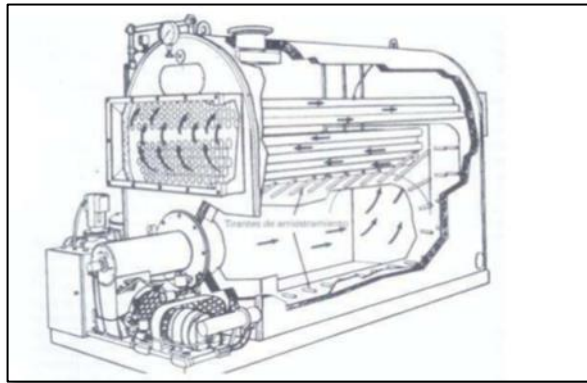
Existen distintos modelos de calderas generadoras de vapor entre ellas se encuentran: calderas pirotubulares, calderas acuotubulares, calderas de tipo serpentín y calderas de biomasa, entre otras.

2.4.1 Calderas pirotubulares

En esta caldera la llama y los productos de la combustión pasan a través de los tubos y el agua caliente rodea el hogar interno y los bancos de tubos. Manejan presiones de operación de 0-20 bares (Rosaler, 2002).

Las ventajas son un menor costo inicial debido a la simplicidad de su diseño, mayor flexibilidad de operación, menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, son pequeñas y eficientes.

Figura 6: Caldera pirotubular.



Fuente: Kohan, 2000.

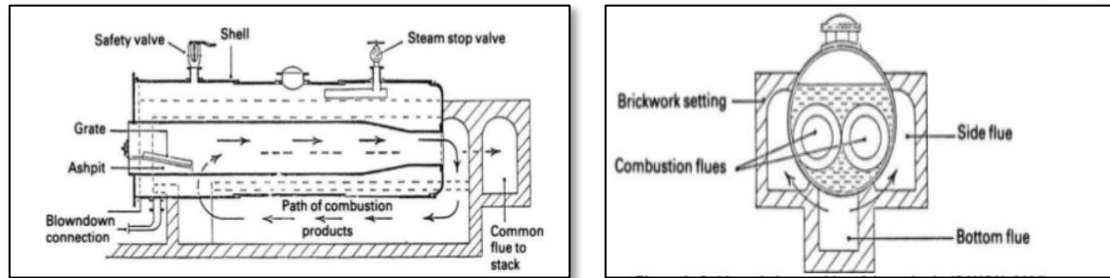
Las calderas pirotubulares son las más utilizadas en el calentamiento de procesos y en aplicaciones industriales y comerciales. (Kohan, 2000).

En el caso de la caldera del hospital Clorinda Avello Santa Juana la caldera actualmente instalada es una caldera de estas características, es decir, una caldera del tipo pirotubular de múltiples pasos.

Las calderas pirotubulares de múltiples pasos usualmente tienen una sola cámara para la combustión principal, con un conjunto de tubos por donde pasan los gases calientes, tanto por el frente como por la parte de atrás de esta. Uno de los primeros diseños fue el de la caldera de Lancashire que se muestra en la figura 7. Originalmente diseñada para

quemadores con carbón, pero luego fue convertida a gas natural. El rendimiento térmico de este tipo de calderas generalmente es cerca del 73-77%.

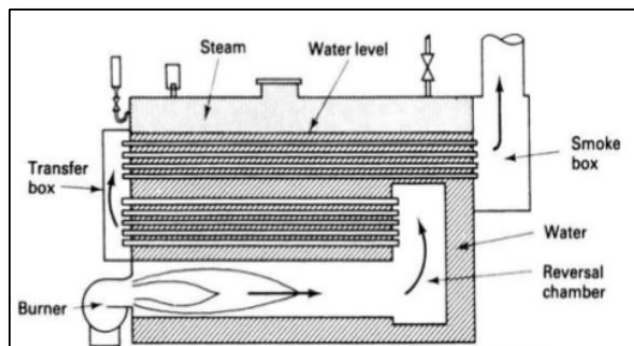
Figura 7: Caldera pirotubular de múltiples pasos.



Fuente: Saxon, 2006.

La caldera moderna de cámara de empaquetada generalmente es de tres pasos en la caldera húmeda. Si no hay problemas de fugas de aire podría trabajar con una eficiencia de 78-83%. El combustible puede ser petróleo, gas o dual. El vapor generado puede ser de hasta 31800 Kg/h de salida generalmente tiene dos tubos de combustión (Saxon, 2006).

Figura 8: Caldera moderna de cámara empaquetada de tres pasos.

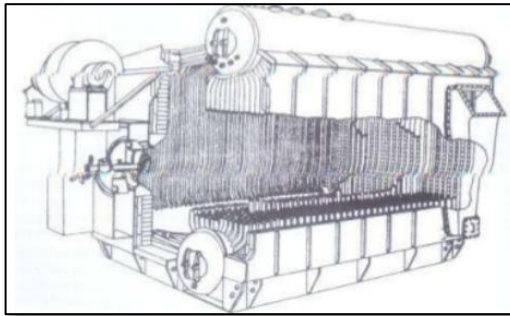


Fuente: Saxon, 2006.

2.4.2 Calderas Acuotubulares

En este tipo de unidad, los productos de la combustión rodean a los bancos de tubos y el agua circula por el interior de dichos tubos. Maneja presiones de operación de 0-150 bares (Rosaler, 2002). Las ventajas son que pueden ser puestas en marcha rápidamente y trabajan a 300 PSI o más, las desventajas son su mayor tamaño y peso lo que conlleva a un mayor costo y que además deben ser alimentadas con agua de mayor pureza.

Figura 9: Caldera acuotubular.

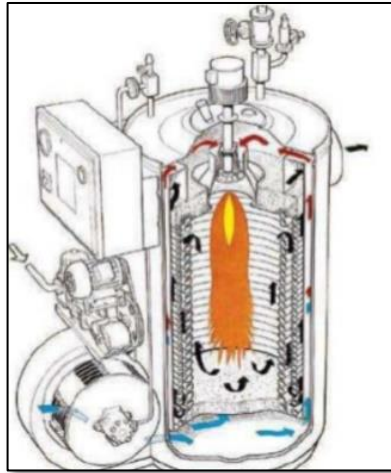


Fuente: Kohan, 2000.

2.4.3 Calderas de tipo serpentín

Estas son en forma de tubo de agua contenida en un conjunto de serpentines. La llama del quemador va por el interior y centro del serpentín, los productos pasan alrededor de las capas externas de los serpentines. Estas calderas suelen llamarse también generadores de vapor o vaporizadores de vapor.

Figura 10: Caldera de tipo serpentín.



Fuente: Kohan, 2000.

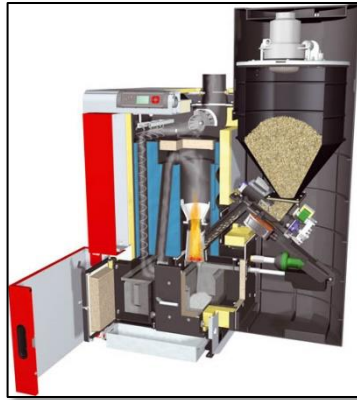
2.4.4 Calderas de biomasa

“La biomasa constituye una fuente energética de gran interés siendo en la actualidad el recurso renovable más utilizado en el planeta, sobre todo en sus formas tradicionales.” (Aracil,2015).

Las calderas modernas queman biomasa de alta calidad como astillas de madera, pellets o residuos agrícolas y agroindustriales uniformes, sin humos y con emisiones comparables a los sistemas modernos de gasoil y gas, alcanzando rendimientos aproximados del 90 % con emisiones de CO de 90 mg/m³, cerca del 0,5 % de las emisiones de una vieja caldera de leña. Conviene resaltar que la mayor ventaja de los sistemas de biomasa se encuentra en el balance neutro de sus emisiones de CO₂.

Para los grandes edificios, actualmente se están implementando enormes calderas de biomasa, encargadas de producir la energía necesaria para cumplir con los requerimientos mínimos de éstos.

Figura 11: Caldera de pellet automática.



Fuente: Gesklima, 2015.

2.5 Eficiencia energética

La eficiencia energética son acciones realizadas con el fin de optimizar la relación entre cantidad de energía consumida y los bienes o servicios finales que se obtengan. Ser eficiente en el ámbito energético, a diferencia de ahorrar energía es producir lo mismo que antes, pero con un gasto menor en consumo, ahorrar energía por otro lado es dejar de realizar determinadas actividades que disminuyen el consumo de la energía. (ACHEE agencia chilena de eficiencia energética, 2014).

El crecimiento en la demanda de energía en Chile, así como la dependencia energética, el calentamiento global y la expansión del sistema eléctrico, entre otros factores, ha incidido en la necesidad de buscar soluciones vinculadas al mejoramiento de la Eficiencia Energética.

2.6 Desarrollo de la eficiencia energética en Chile

La línea de apoyo “Desarrollo de proyectos de eficiencia energética en Edificios Públicos” del Área de Edificación de la AChEE, realizó la adjudicación de dos proyectos para dos hospitales públicos de Chile.

A los cuales fueron adjudicados los proyectos PEEEP (Programa de eficiencia energética en edificios públicos) 2014 en dos hospitales públicos de Chile.

Figura 12: Hospital San Juan de Dios y Hospital Dr. Hernán Henríquez Aravena.



Fuente: ACHEE (Agencia Chilena de Eficiencia Energética), 2014.

En el Hospital Dr. Hernán Henríquez Aravena de Temuco, la implementación de medidas de eficiencia energética que se llevará a cabo en el recinto asistencial le permitirá ahorrar alrededor de \$80.600.000 al año. Y proyecta un ahorro en eficiencia de 1.323 MWh/año.

El hospital San Juan de Dios de Santiago, el cual accedió al mismo fondo tiene un proyecto que consiste en calderas de condensación de central térmica del edificio Torre y termorregulación para el edificio CDT con lo cual proyecta un ahorro aproximado de 594 MWh/año.

Capítulo 3: Metodología

Debido a que el hospital Clorinda Avello Santa Juana quiere mejorar su sistema de calefacción es que se determinarán posibles alternativas para mejorar el sistema actual haciéndolo más eficiente y permitiendo que responda a las nuevas necesidades generadas.

Para el desarrollo de este proyecto se trabajará con los siguientes objetivos:

3.1 Objetivo específico 1

Determinar la oferta de la caldera actual del hospital y la demanda actual en calefacción, agua caliente sanitaria y lavandería.

3.1.1 Recopilación de información

Se realizará un estudio donde se considerarán los siguientes aspectos

- Planos del edificio a calefaccionar; permitirá la identificación del espacio físico del recinto hospitalario, estructura e instalaciones además se debe considerar los materiales de construcción.
- Funcionamiento del recinto hospitalario; el sistema de calefacción tiene un requerimiento continuo o en horarios determinados.
- Características de la caldera actual; se determinarán las características técnicas y dimensionamiento de la caldera actual, además de potencia, año de fabricación y modelo.
- Tipo o tipos de combustibles utilizados actualmente por la caldera y el espacio físico de almacenamiento de estos.
- Costos anuales actuales asociados a combustible, operarios y mantenciones.

3.1.2 Cálculo de la oferta energética total de la caldera actual

Para calcular la potencia total generada por cada uno de los combustibles se utilizará la siguiente fórmula.

$$Q_{combustible} = \dot{m} * PC$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico del combustible [Kg/s].

PCS : Poder calorífico [KJ/Kg].

El cálculo del flujo másico se obtiene mediante la siguiente fórmula.

$$\dot{m} = Fv * \rho$$

Donde

Fv = consumo de combustible [m³/día].

P = densidad del aserrín [Kg/m³].

Sumando la potencia generada con el aserrín y el pellet tendremos la oferta de la caldera actual del hospital.

3.1.3 Cálculo de la demanda energética total para calefaccionar

- Obtención de datos climatológicos, temperaturas externas e internas del centro hospitalario, así como también las temperaturas promedio actuales presentes en los distintos boxes y oficinas.
- Cálculo de la pérdida de calor del centro hospitalario, donde se valorará, por un lado, las pérdidas de calor por transmisión a través de cerramientos verticales y

horizontales (paredes, muros, pisos, etc.), y, por otro lado, las infiltraciones de aire del exterior a través de los cerramientos mal aislados. Finalmente, se añade un factor de suplemento que compensará algunas características del espacio a calefaccionar, como su orientación, tiempo de utilización, etc.

a) Pérdidas de calor por transmisión

Para el cálculo de las pérdidas de calor por transmisión, se deberá seguir los siguientes pasos:

- Fijar temperaturas óptimas en el interior y exterior del edificio a calefaccionar.
- Cálculo del coeficiente de transmisión de calor de cerramientos el cual expresa la cantidad o flujo de calor que pasa en una unidad de tiempo, a través de una superficie determinada. (Holman,1998).

La expresión de cálculo del coeficiente de transmisión viene dada por la fórmula.

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \frac{en}{\lambda n} + \frac{1}{he}}$$

Dónde:

$\frac{1}{hi}$: Resistencia térmica superficial interior (Se encuentra en el espacio a calefaccionar).

$\frac{en}{\lambda n}$: Resistencia térmica internas (son determinadas por los diferentes materiales que componen la superficie).

$\frac{1}{he}$: Resistencia térmica superficial exterior (Se encuentra en el otro lado del espacio a calefaccionar).

U: coeficiente de transmisión global, expresado en $[W/m^2 \cdot K]$.

- Calcular las pérdidas totales de calor por transmisión.

$$Q_t = \sum (U \cdot S(t_i - t_e))$$

Dónde:

Q_t : pérdidas por transmisión totales [W].

U: coeficiente de transmisión de los cerramientos [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$].

S: superficie de cerramiento [m^2].

t_i : Temperatura interior [$^{\circ}\text{C}$].

t_e : Temperatura exterior [$^{\circ}\text{C}$].

b) Pérdidas de calor por infiltración.

Para el cálculo de las pérdidas de calor por infiltración a través de fisuras o rendijas de puertas y ventanas, que son el aporte calórico que se necesitará para calentar el aire frío del exterior que se introduce al hospital. Se utilizará el método de pérdidas de calor por ventilación. (Moreno,2012).

Los pasos a seguir para calcular las pérdidas de calor por infiltración son:

- Calcular la longitud de las ranuras para el método de pérdidas por ventilación mediante la consideración de el tipo de ventana y la velocidad del viento en la zona donde se realiza el estudio.

La expresión para el cálculo de la longitud de ranura de la ventana es una fórmula simple que es el resultado de la suma del largo (expresado en metros) de la ventana multiplicado por dos más el ancho (expresado en metros) de esta, igualmente multiplicado por dos. (Moreno,2012).

Los criterios para determinar las longitudes de fisura son los siguientes:

- Solamente intervienen las fisuras de puertas y ventanas que corresponden a paredes exteriores.
 - Si es una estructura única, el exterior, se contabiliza el total de las fisuras de esta estructura.
 - Si los paramentos de las piezas a considerar son dos o más de dos, se contabiliza sólo el que presenta mayor longitud de rendijas, y ese valor siempre será mayor que la mitad de la totalidad de las fisuras de todos los parámetros exteriores.
- Calcular el coeficiente de infiltración para el método de pérdidas por ventilación el cual se determinará considerando la velocidad del viento en la zona donde se encuentra el hospital.

La expresión de cálculo de las pérdidas totales por ventilación viene dada por la fórmula.

$$VA_f = F \cdot L$$

Dónde:

VA_f : Volumen de aire infiltrado por las fisuras [m^3/h].

F: coeficiente de infiltración [$m^3/m \cdot h$].

L: longitud de fisuras consideradas [m].

- Calcular pérdidas totales de calor por infiltración.

$$Q_v = V_a \cdot (t_i - t_e) \cdot c_v$$

Dónde:

Q_v : Pérdida por ventilación o infiltración [Kcal/h].

V_a : Volumen de aire infiltrado [m^3/h].

c_v : Calor específico volumétrico del aire [Kcal/m³·°C].

t_i : Temperatura interior [°C].

t_e : Temperatura exterior [°C].

Para el calor específico volumétrico del aire, se toma el valor de 0,3 Kcal/m³ °C

c) Pérdidas de calor por suplementos.

Se considerará como pérdidas de calor por suplemento a aquellas pérdidas de calor generadas por: la orientación del hospital, la interrupción del servicio y paredes frías.

Para el cálculo de las pérdidas de calor por suplementos, se deberá calcular:

- el factor de suplemento que es el porcentaje total a considerar proveniente de la suma de cada uno de los porcentajes de pérdidas consideradas. (Moreno,2012).

La expresión de cálculo del factor de suplemento viene dada por la fórmula.

$$F_s = S_1 + S_2 + S_3$$

Dónde:

S_1 : Suplemento por orientación (pérdidas por orientación).

S_2 : Suplemento por interrupción (pérdidas por interrupción de servicio).

S_3 : Suplemento por pared fría (pérdidas por paredes frías).

- Calcular pérdidas totales de calor por suplementos.

$$Q_s = F_s \cdot Q_t$$

Dónde:

Q_s : pérdidas por suplementos [Kcal/h].

F_s : Factor de suplementos.

Q_t : Pérdidas por transmisión [Kcal/h].

Ahora para calcular la demanda calórica total para calefaccionar el hospital Clorinda Avello Santa Juana, se considerará la suma de todas las pérdidas de calor calculadas. (Moreno,2012).

La expresión de cálculo de la demanda total en calefacción viene dada por la fórmula.

$$Q_0 = Q_T + Q_V + Q_S$$

Donde:

Q_0 : Demanda calorífica total [Kcal/h].

Q_T : Pérdidas de calor por transmisión [Kcal/h].

Q_V : Pérdidas de calor por ventilación o infiltración [Kcal/h].

Q_S : Pérdidas de calor por suplementos [Kcal/h].

3.1.4 Cálculo de la potencia total requerida para calefaccionar

Para determinar la potencia requerida para calefaccionar el hospital se aumentará la demanda calórica total en un 10% para cubrir los errores que pudieran producirse en los cálculos.

$$P_e = Q_0 \cdot (1 + 0.10)$$

Dónde:

P_e : Potencia calórica de la caldera [Kcal/h].

Q_0 : Demanda calórica total del edificio [Kcal/h].

3.2 Objetivo específico 2

Evaluar alternativas de tipos de calderas que permitan satisfacer la demanda requerida en calefacción, agua caliente sanitaria y lavandería actuales del hospital.

3.2.1 Matriz de alternativas para el sistema de calefacción

La siguiente matriz permitirá comparar tres alternativas de calderas que cumplan las especificaciones señaladas. Se considerarán tres para no extender demasiado el estudio.

La matriz contendrá información sobre:

- Tipo de caldera, características técnicas y valor económico.
- Tipo de combustible, emisiones contaminantes, y costo del mismo.
- Eficiencia y potencia entre otros.

3.2.2 Análisis multicriterio en la toma de decisiones

El proceso de toma de decisiones multicriterio y análisis multicriterio corresponde aquellos métodos que se utilizan en casos donde es necesario encontrar soluciones a problemas compuestos de múltiples alternativas de selección de se pueden evaluar por medio de características de desempeños, llamados criterios.

Los métodos de Decisión Multicriterio se dividen en dos grupos:

- Multicriterio continuo o Multiobjetivo
- Decisión multicriterio discreta

Se habla de una decisión multicriterio continua u multiobjetivo, cuando la función objetivo toma un número infinito de valores y conduce a un número infinito de alternativas. En cambio, para el caso de decisión multicriterio discreta es cuando el número de alternativas de decisión es finito.

Los principales Métodos de Decisión Multicriterio Discreto son:

- Ponderación Lineal (*Scoring*).
- Utilidad Multiatributo (MAUT).
- Relaciones de Superación.
- Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). (Toskano Hurtado, 2005:101)

De los cuales se seleccionó la Ponderación lineal o método de *Scoring*, debido a que este se emplea cuando se dispone de poca información y en situaciones de incertidumbre.

Las etapas del método *Scoring* son:

1. Identificar la meta general del problema
2. Identificar las alternativas
3. Listar los criterios a emplear en la toma de decisiones
4. Asignar una ponderación para cada uno de los criterios
5. Establecer en cuanto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios
6. Calcular el score para cada una de las alternativas
7. Ordenar las alternativas en función del score. La alternativa con el score más alto representa la alternativa a recomendar.

La expresión de cálculo para calcular el *Score* viene dada por la fórmula:

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

r_{ij} = rating de la alternativa j en función del criterio i

w_i = ponderación para cada criterio i

S_j = score para la alternativa j

3.3 Objetivo específico 3

Para evaluar la factibilidad económica se realizará un análisis mediante el enfoque Costo-Eficiencia cuyo objetivo es evaluar e identificar aquella alternativa de solución que presente el mínimo costo.

- Las alternativas deben entregar beneficios comparables
- Este enfoque se aplica cuando existe dificultad para cuantificar y o valorar los beneficios del proyecto.

En estos casos se reconoce que los beneficios son deseados por la sociedad, por lo tanto, el criterio a aplicar será el de mínimo costo. Bajo este enfoque no se valoran los beneficios, si no, sus costos involucrados. Es por esto que se utilizarán los indicadores financieros VAC (Valor Actual de Costos) y el CAE (Costo Anual Equivalente).

3.3.1 Cálculo de los indicadores económicos valor actual de costos (VAC) y costo anual equivalente (CAE)

El Valor Actual de costos (VAC) es un indicador para aquellos proyectos en que se hace imposible la valoración de beneficios o si, entre dos alternativas, solo existen diferencias en los costos. Es similar al VAN, pero solo tomando los egresos del proyecto. permite comparar alternativas de igual vida útil. (Sapag,2008).

Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

I_0 = inversión inicial

C_t = costos incurridos durante el periodo t

n = horizonte de planeación

r = tasa social de descuento

El costo anual equivalente (CAE) es un indicador para proyectos en que los beneficios pueden identificarse, pero no cuantificarse ni valorarse. Permite comparar alternativas de distinta vida útil. (Sapag,2008).

Se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$CAE = VAC \cdot \frac{r \cdot (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1}$$

Donde:

VAC = Valor Actual de los costos

n = horizonte de planeación

r = tasa social de descuento

Es el indicador más utilizado para el sector salud (público), tanto puro como en una variable, denominada CAE por usuarios.

3.3.2 Análisis de sensibilidad de los combustibles

El análisis de sensibilidad sobre los combustibles permitirá observar como varia el CAE cuando los costos en combustible presentan variaciones en su precio.

Se considerarán las tres alternativas identificadas al momento de generar la matriz y se evaluara con gráficos de Excel cada combustible utilizado.

Capítulo 4: Estructuras a calefaccionar y caldera actual

4.1 Hospital Clorinda Avello Santa Juana

El Hospital Clorinda Avello de Santa Juana es un establecimiento de salud dependiente del Servicio de Salud Concepción, cuenta con una superficie de 2.777 m² emplazados en 27.800 m² de terreno, ubicado en la ribera sur del río Biobío, a 56 Km de la ciudad de Concepción, conectado a ella por la ruta de la madera.

Su construcción data del año 1961, en reemplazo del entonces destruido establecimiento por el terremoto de 1960. Es un Hospital de baja complejidad. Cuenta con servicio de hospitalización y un policlínico adosado de atención abierta. Brinda atención de morbilidad, pacientes crónicos, enfermería, kinesiología, psicología, nutrición, servicio social, atención maternal y dental.

Atiende una población de 13.000 habitantes aproximadamente, de los cuales el 45% corresponde a población rural. El nivel socioeconómico de la comuna es medio – bajo, predominando la actividad silvoagropecuaria.

Figura 13: Hospital Clorinda Avello Santa Juana.



Fuente: Goglemaps, coordenadas (-37.036; -72.527), 2015.

4.2 Datos climatológicos de la zona

Las características climáticas templadas son las que predominan en la Región, observándose algunas diferencias producidas por su cercanía al mar. Se distinguen tres sub climas de acuerdo a la duración de la estación seca y la influencia oceánica.

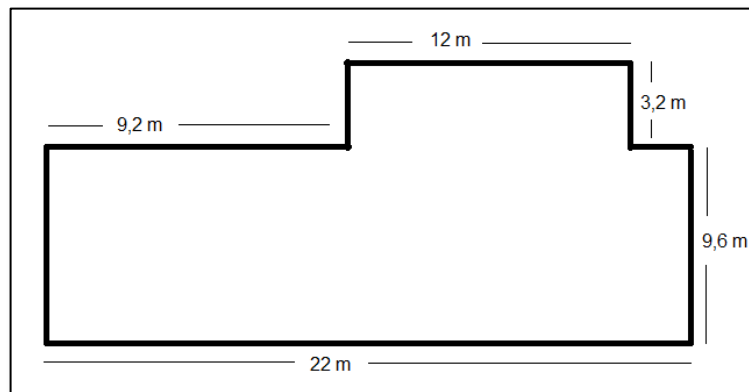
Clima templado cálido con una estación seca de 4 a 5 meses que se encuentra en el sector norte de la región y comprende desde la costa hasta una estrecha franja de la frontera con argentina. Las temperaturas medias son inferiores a 13°C, con 12°C de amplitud térmica anual.

4.3 Descripción y características de cada estructura

En el estudio realizado se determinará las pérdidas de calor para tres estructuras que son el pabellón geriátrico o asilo de ancianos, el hospital y la sala cuna.

El pabellón geriátrico es una estructura antigua construida en su mayor parte por madera con baños de cemento y cuyas dimensiones se presentan en la figura 14.

Figura 14: Dimensiones de la figura que cubre el pabellón geriátrico.

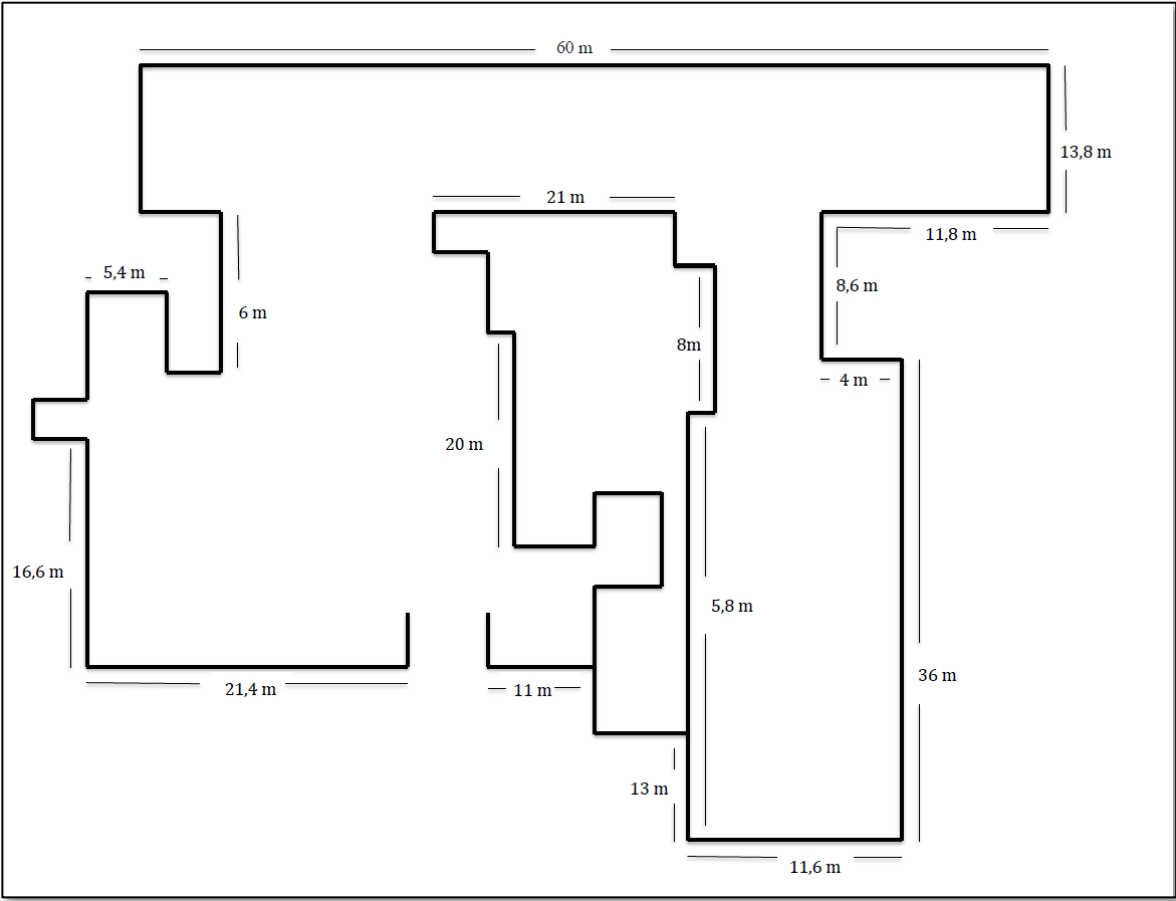


Fuente: elaboración propia.

El hospital un edificio antiguo construido aproximadamente en el año 1961 tiene paredes muy gruesas de cemento y para la iluminación y ventilación cuenta con ventanas y puertas de hierro.

Las dimensiones que rodean la estructura del hospital están señaladas en la figura 15.

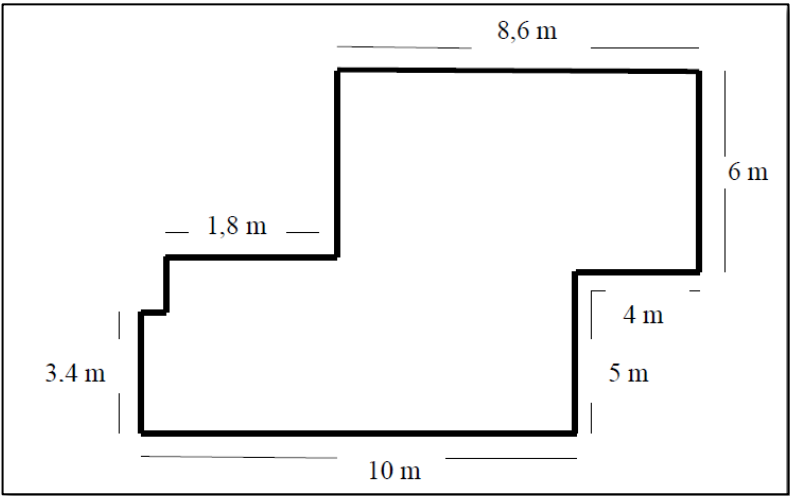
Figura 15: Dimensiones de la figura que cubre al hospital.



Fuente: Elaboración propia.

La sala cuna es un edificio antiguo construido junto con el hospital, pero que en un comienzo funcionaba como morgue, poseen paredes gruesas de cemento y ventanas de hierro, también cuenta con una ampliación de madera. La figura 16 muestra las dimensiones que rodean la sala cuna.

Figura 16: Dimensiones de la figura que cubre la sala cuna.



Fuente: Elaboración propia.

4.4 Características de la caldera actual

Ubicada al costado derecho del hospital y al costado izquierdo de la sala cuna la caldera del hospital Clorinda Avello Santa Juana cubre 102,6 m² de los cuales 31,5 m² corresponden a la sala de máquinas. En la tabla 1 se presentan las características de la caldera actual.

Tabla 1: Características de la caldera actual.

Equipo	Caldera Igneotubular (tipo kewanee); 3 pasos - N° Registro: SSSCONC. 023
Fabricante	maestranza San Luis; Santiago - N° Fabrica: 093 – Año: 1964
Superficie de Calefacción	32 m ²
Presión máxima de trabajo	4 kg/cm ² o 60 lb/pulg ² - Producción de vapor: 700 Kv/Hr.
Características construcción del equipo	Acero A-515 Gr B
Envolvente	1.250 m/m diámetro, 14 mm espesor
Placas (espejo) tubulares	16 mm espesor
Fogón Cuadrangular	900*900 mm
Tubos (61)	76,1 m/m (3”) diámetro exterior * 3,2 mm. de espesor de pared.
Válvula de seguridad (2)	De tipo resorte (1 1/2” * 1 1/2”)
Capacidad total evacuación	1.000 Kv/Hr.
Graduación válvula de velocidad	(2)63,3 lb/pulg ² - (2) 64 lb/pulg ²
Manómetro de graduación (rango)	0-200 PSI instalación reglamentaria
Indicador de Nivel	Tubo de vidrio Cantidad: 1 Grifo de prueba: 3
Control de nivel (1)	McDonnell & Miller.
Combustible utilizado	Aserrín – Consumo: 3 a 6 m ³ por día.
Tratamiento de agua	Ablandador de una columna.
Alarma	Sonora (chicharra y timbre) visual luz giratoria.

Fuente: Certificado de revisión y pruebas de calderas, generadores de vapor y autoclaves, 2013.

La caldera se construyó originalmente para utilizar como combustible carbón de piedra, con el tiempo este combustible dejó de utilizarse por lo que se reemplazó por madera y finalmente se construyó una estructura que permitía alimentar la caldera con llamas generadas por el aserrín. (J. Salazar, comunicación personal, 29 septiembre 2015).

La figura 17 muestra como luce la caldera actualmente luego de la última mantención del año 2015.

Figura 17: Caldera actual y estructura de alimentación de combustible.



Fuente: Elaboración propia.

La estructura de la caldera tiene unas superficies de calefacción de 32m², frente a la puerta donde se suministra el combustible se encuentra la estructura diseñada para proporcionar llamas generadas por aserrín, el cual es transportado por una banda transportadora que funciona manualmente con un control que es activado por el encargado de caldera cuando el nivel de aserrín baja.

La caldera genera también vapor el cual es utilizado en el área de lavandería la lavandería cubre 66,6 m² y posee dos secadoras y una lavadora funcionando gracias al vapor suministrado por la caldera más una lavadora en reparaciones que cuenta con una centrífuga.

La chimenea de aproximadamente 15 metros de altura, formada por tubos de fierro de 4mm es la encargada de liberar las emisiones de humo y gases generados por la combustión. La figura 18 muestra cómo luce la chimenea bajo el techo y su conexión a la caldera.

Figura 18: Chimenea de la caldera.



Fuente: Elaboración propia.

La caldera cuenta con bombas de inyección de agua de alta presión, las cuales mantienen los niveles de agua dentro de la caldera para que se mantengan sobre el nivel de los tubos interiores que contienen el vapor de la combustión. El agua es extraída de un estanque de condensado que recibe el vapor que regresa de las tuberías de calefacción para ser convertido en agua nuevamente. La figura 19 muestra las 2 nuevas bombas de inyección y el nuevo estanque de condensado instalados en la mantención del año 2015.

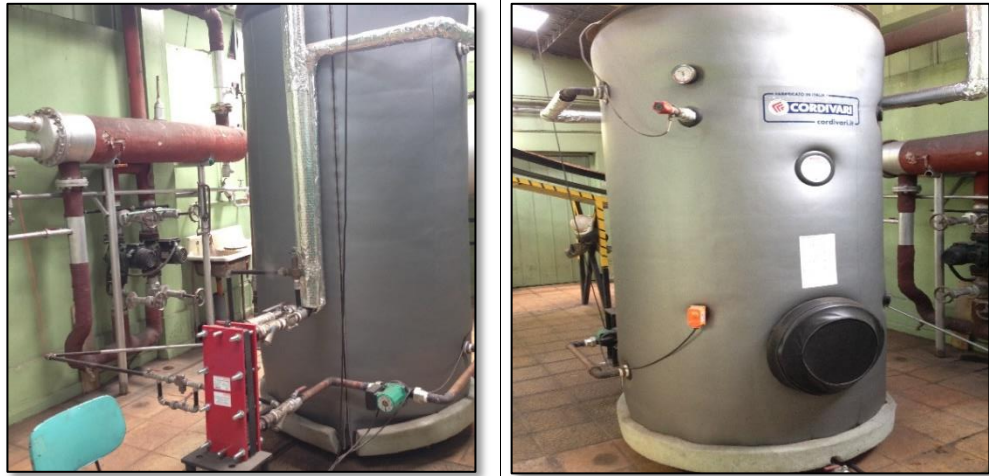
Figura 19: Bombas de inyección y estanque de condensado.



Fuente: Elaboración propia.

La caldera cuenta con un sistema que utiliza su vapor para calentar un estanque de agua caliente sanitaria de 1.200 litros de agua, que es utilizada para baños de funcionarios y cocina. La figura 20 muestra el nuevo estanque renovado tras la mantención del año 2015.

Figura 20: Estanque de acumulación de agua.



Fuente: Elaboración propia.

El Silbín o Contenedor de agua caliente, recibe el vapor proveniente de la caldera, posee dos bombas de aceleración de calefacción que permiten distribuir el agua recalentada a través de los radiadores. La figura 21 muestra como luce actualmente el silbin.

Figura 21: Silbín.



Fuente: Elaboración propia.

Las llaves de paso de la caldera permiten distribuir el vapor generado a la lavandería el estanque de agua y el silbin para calefacción, en lavandería el vapor alimenta las secadoras de ropa, en el caso del estanque calienta el agua que se distribuye a las duchas y a la cocina

y en calefacción calienta el agua que se distribuye por las cañerías para llegar a los radiadores de cada una de las salas. La figura 22 muestra las llaves de paso que funcionan actualmente en la caldera.

Figura 22: Llaves de paso para calefacción y lavandera.



Fuente: Elaboración propia.

Los radiadores forman parte del sistema de calefacción actual y permiten entregar calor a las habitaciones donde se encuentran instalados. Actualmente el hospital cuenta con dos tipos de radiadores:

- los antiguos de hierro fundido, muy resistentes y duraderos, a pesar de que tardan más tiempo en calentarse conservan más el calor.
- Los nuevos radiadores instalados en las salas remodeladas por los daños del terremoto del 27 de febrero del 2010 y en la nueva estructura para oficinas administrativas construida. De aluminio fundido son más ligeros y se calientan más rápidamente, además de ser bastante estéticos.

La figura 23 muestra la imagen de los radiadores antiguos de hierro fundido y los nuevos de aluminio que actualmente pertenecen al sistema de calefacción.

Figura 23: Estanque de acumulación de agua.



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Potencia actual requerida para calefaccionar

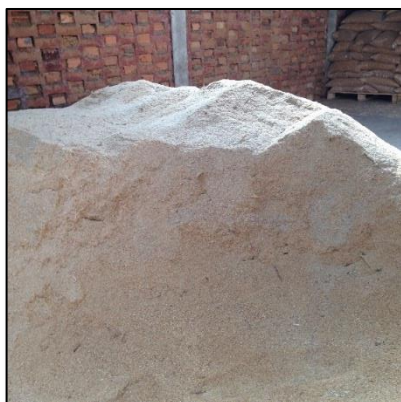
Para calcular la potencia actual que la caldera utiliza para calefaccionar se considerará la utilización de dos tipos de combustibles aserrín y pellet ya que el director del hospital ha decidido utilizar ambos debido a un exceso de humedad en el aserrín.

4.5.1 Potencia de la caldera utilizando aserrín como combustible

El aserrín es el desperdicio generado en el proceso de aserrado de la madera, es liberado a canchas de acopio por chimeneas conectadas a las máquinas que cortan y procesan la madera en los aserraderos.

Los residuos forestales, sobre todo el aserrín, son altamente contaminantes para el Medio ambiente. Y producen más dióxido de carbono mientras más porcentaje de humedad posean. La figura 24 muestra una foto de un rumo de aserrín actualmente ocupado para la combustión de la caldera.

Figura 24: Aserrín almacenado en bodega del hospital.



Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la potencia se utilizó el poder calorífico. El cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2: Poder calorífico del aserrín.

PC (Poder calorífico) aserrín	PCI (poder calorífico inferior) KJ/Kg	PCS (poder calorífico superior) KJ/Kg
humedad <57%	3.360	8.400
57% humedad	3215,5	8.038,7

Fuente: Juan M, 2014.

El consumo de aserrín en el hospital es de 3 a 6 m³ por día. (J. Salazar, comunicación personal, 29 septiembre 2015). Se consideró el consumo máximo de 6 m³/día y una densidad del aserrín de 330 Kg/m³ de lo cual se obtiene que el flujo másico es de 0,0229 Kg/s.

Reemplazando los datos de la tabla en la fórmula considerando un aserrín de humedad <57% tenemos:

40

$$Q_{combustible} = 0,0229 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 3.360 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 77 \text{ kW}$$

La potencia de la caldera utilizando como combustible aserrín de humedad <57% es de 77 kW, dado que se considera una eficiencia de un 85% la potencia es de 65,45 kW.

Ahora reemplazando los datos de la tabla en la fórmula considerando un aserrín de humedad 57% tenemos:

$$Q_{combustible} = 0,0229 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 3.215,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 73,68 \text{ kW}$$

La potencia de la caldera utilizando como combustible aserrín de humedad 57% es de 73,68 KW, con una eficiencia de un 85% la potencia es de 62,628 kW.

4.5.2 Potencia de la caldera utilizando pellets como combustible

Una nueva forma de utilizar los residuos madereros es convirtiéndolos en pellets o briquetas, conocidos también como biocombustibles sólidos densificados. Estos biocombustibles (pellets) tienen forma cilíndrica con diámetros normalmente comprendidos entre 7 y 22 mm y longitudes de 3,5 a 6,5 cm, cuya fabricación se realiza a alta presión, sin necesidad de utilizar algún tipo de adhesivo (Marcos y Núñez, 2006)

El pellet es una fuente de energía renovable que beneficia al medio ambiente gracias a la utilización de los restos de las industrias madereras, de manera que no es necesario talar bosques para su producción. Además, es una energía limpia ya que las emisiones de CO₂ de las estufas de pellet se consideran neutras. Esto se debe a que el CO₂ generado durante la combustión del pellet es igual la cantidad que hubiese sido generada por la descomposición de la madera; siendo a su vez igual a la cantidad de CO₂ que el árbol ha absorbido durante su etapa de crecimiento (R. Ecoteck).



Figura 25: Pellet almacenado en la bodega de la caldera.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la potencia se utilizó el poder calorífico. El cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3: Poder calorífico del aserrín.

Poder calorífico	PCI (poder calorífico inferior) Kcal/Kg
pellets	4.285

Fuente: Ecomas, 2015.

El consumo de pellets es de 2 m³/día (J. Salazar, comunicación personal, 29 septiembre 2015). Se consideró una densidad de 650 Kg/m³ correspondiente a 0,015 Kg/s.

La potencia generada utilizando como combustible pellets con un poder calorífico inferior de 4.285 Kcal/Kg es de 64,27 kcal/s lo cual equivale a 269,94 kW de potencia y considerando una eficiencia del 85% es de 229,45 kW.

Considerando que este invierno se mezclaron ambos combustibles (J. Salazar, Comunicación personal, 10 septiembre 2015) Se determina que la potencia actual generada considerando aserrín con humedad <57% y pellet es de 294,9 kW.

Capítulo 5: Cálculo de la demanda energética y potencia requerida

A continuación, se realizarán los cálculos de demanda energética del hospital Clorinda Avello Santa Juana, donde además se tomará en consideración la sala cuna y el pabellón geriátrico (asilo de ancianos) ya que la caldera encargada de calefaccionar el hospital también calefacciona estas dos áreas secundarias.

5.1 Características constructivas de los cerramientos

- Muro exterior de concreto: formado por ladrillo macizo de 20 cm de espesor, estuco de cemento de 3 cm de espesor y una cubierta de cerámicas cuadradas pequeñas de 3 mm de espesor.
- Muro exterior de madera: formada por 1,2 cm de madera por lado más un espacio de 4 cm de aire.
- Piso de concreto con vinílico: formado por una capa inferior de concreto de aproximadamente 12 cm y una capa superior de piso vinílico de 2 mm.

- Piso de concreto con cerámico: formado por una capa inferior de concreto de aproximadamente 12 cm y una capa superior de cerámico de 4 mm.
- Piso de madera: piso formado por tabla de 3 cm montadas en bigas.
- Techo del hospital: formado por 12 cm de hormigón armado, lana de vidrio de 5cm, papel fieltro, plancha de cinc 0,6 mm y espacio de aire de 80 cm.
- Techo de madera: techo de tablas de 2 cm espacio producto de la cercha donde se promedian 10 cm de aire más madera 3 cm y zinc 0,6 mm.
- Ventanas con carpintería de hierro de cristal sencillo de 2 mm.
- Ventanas con carpintería de aluminio de cristal sencillo de 2 mm.
- Puerta de metal acristalada (con un porcentaje de vidrio de 30% a 60%).
- Puerta de aluminio acristalada (con un porcentaje de vidrio de 30% a 60%).
- Puerta de madera: con planchas de 6 mm de espesor más un espacio de aire de 3,5 cm.

5.2 Determinación de las pérdidas de calor por transmisión

Las pérdidas de calor por transmisión son aquella que se produce a través de cerramientos verticales y horizontales, se considerarán pisos paredes y techos.

5.2.1 Temperatura exterior e interior

Las temperaturas interiores: dependen del grado de confort que se desee obtener en el interior de box, oficina o pasillo, así como también el uso que se le quiera dar a éste. La tabla 4 muestra las temperaturas consideradas, dónde oficinas y pasillos presentan temperaturas inferiores debido al calor generado por la cantidad de personas que se encuentran ocupando esos espacios.

Tabla 4: Poder calorífico del pellet.

Estancia del recinto Hospitalario	Temperatura °C
Box	20
Oficinas	19
Pasillos	18
Baños	20

Fuente: Juan M, 2014.

Para determinar la temperatura interior se consideró que los sistemas de calefacción generalmente están diseñados para una temperatura ambiente de 18°C a 20°C que es suficiente para la mayoría de los casos, como en este caso estamos considerando la calefacción de un hospital tomaremos como temperatura interior de confort 20°C.

Las temperaturas exteriores es la que se da al otro lado del cerramiento, cuando el cerramiento es exterior, la temperatura será la del aire exterior, y cuando el cerramiento sea interior la temperatura será la del box u oficina colindante pudiendo a veces ser superior a la interior, aportando calor en este caso en lugar de pérdidas.

Para determinar la temperatura exterior dado que el clima en la zona en que se encuentra el hospital es cálido y templado y dado que el mes más caluroso del año es enero con un promedio de 18,2°C y el mes más frío julio con 9°C tomaremos como temperatura exterior el peor de los casos que es el más frío con 9 grados celsius.

5.2.2 Valores de resistencia térmica superficiales

“La resistencia térmica es la diferencia de temperatura, en estado estable, entre dos superficies definidas de un material o construcción que induce una unidad de velocidad de flujo de calor al atravesar una unidad de área $K \cdot m^2/W$ ” (Cantó, 2014, p.20).

Tabla 5: Resistencias superficiales de cerramientos.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente.	0,04	0,1
Cerramientos horizontales y flujos descendentes	0,04	0,17

Fuente: Juan M, 2014.

Los datos de la tabla anterior se utilizarán para calcular los coeficientes de transmisión de los cerramientos.

5.2.3 Coeficientes de conductividad térmica

En la tabla se recogen los coeficientes de conductividad térmica de los materiales utilizados en los cerramientos de las estructuras. Que serán utilizados en el cálculo de coeficientes de transmisión de los cerramientos.

Tabla 6: Coeficientes de conductividad térmica.

Material	Conductividad térmica (w/mK)
Ladrillo macizo	0,87
Cemento	1,4
Cerámica	0,81
Madera	0,13
Aire	0,026

Lana de vidrio	0,032
Vinílico	0,25
Hormigón armado	1,63
Zinc	106

Fuente: Juan M, 2014.

5.2.4 Cálculo de los coeficientes de transmisión de los cerramientos

Los coeficientes de transmisión se pueden calcular mediante valores tabulados para cubiertas, puertas, muros, ventanas y forjados. O mediante una expresión dependiente de la resistencia térmica superficial interior, la resistencia superficial exterior y las resistencias térmicas internas de los materiales que componen los cerramientos.

La expresión de cálculo del coeficiente de transmisión viene dada por la fórmula.

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \frac{en}{\lambda n} + \frac{1}{he}}$$

Dónde:

$\frac{1}{hi}$: Resistencia térmica superficial interior (Se encuentra en el espacio a calefaccionar).

$\frac{en}{\lambda n}$: Resistencia térmica internas (son determinadas por los diferentes materiales que componen la superficie).

$\frac{1}{he}$: Resistencia térmica superficial exterior (Se encuentra en el otro lado del espacio a calefaccionar).

U: coeficiente de transmisión global, expresado en $[W/m^2 \cdot K]$.

Utilizando las características constructivas de los cerramientos, valores de resistencia térmica y coeficientes de conductividad térmica se calculó el coeficiente de transmisión de cada uno de ellos.

Muro exterior de concreto:

$$U = \frac{1}{0,13 + \frac{0,2}{0,87} + \frac{2 * 0,03}{1,4} + \frac{2 * 0,003}{0,81} + 0,04}$$

$$U = 2,22 \text{ w/m}^2\text{K}$$

Los siguientes cerramientos fueron calculados de la misma forma, y los valores obtenidos en cada uno de los cálculos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Coeficiente de conductividad térmica.

Cerramientos	U (w/m ² k)
Muro de concreto	2,22
Pared de madera	0,29
Piso de concreto con vinílico	3,29
Piso de concreto con cerámica	3,33
Piso de madera	2,27
Techo del hospital aislado	0,05
Techo de madera	0,24
Ventanas de hierro	6,51
Ventanas de aluminio	6,75
Puerta de metal (30% a 60%)	5,73
Puerta de madera	0,51
Puerta de aluminio	5,97

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, el cálculo de la pérdida de calor por transmisión se determinó multiplicando la superficie de cada cerramiento por los coeficientes de transmisión de cada uno, y por el salto térmico que los separa. Las pérdidas por transmisión totales se obtienen mediante la siguiente fórmula.

$$Q_t = \sum (U \cdot S(t_i - t_e))$$

Dónde:

Q_t : Pérdidas por transmisión totales [W].

U : Coeficiente de transmisión de los Cerramientos [W/m²K].

S : Superficie de cerramiento [m²].

t_i : Temperatura interior [°C].

t_e : Temperatura exterior [°C].

Los cálculos de pérdidas de calor por transmisión del pabellón geriátrico (asilo de ancianos), el hospital y sala cuna que abastece la caldera se presentan en las siguientes tablas

Las pérdidas de calor por transmisión del pabellón geriátrico considerando para ello una temperatura de confort de 20 °C se presentan en la tabla 8 donde además se considerará la utilización de solo dos decimales.

Tabla 8: Pérdidas de calor por transmisión del pabellón geriátrico.

Cerramiento	coeficientes de transmisión	Área m ²	Temperatura interna °C	Temperatura externa °C	Pérdidas de calor por transmisión Q
-------------	-----------------------------	---------------------	------------------------	------------------------	-------------------------------------

	U (W/m ² K)				(w)
Muro de concreto	2,22	66,2	20	9	1617,68
Pared de madera	0,291	187,31	20	9	487,61
Piso de concreto con cerámica	3,326	24	20	8,2	941,95
Piso de madera	2,269	151,8	20	8,2	4063,90
Techo de madera	0,242	173,02	20	9	459,71
Ventanas de hierro	6,510	20,944	20	9	1499,80
Puerta de madera	0,506	12	20	9	50,06
				Qt	9120,71

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 8 se obtuvo que las pérdidas de calor por transmisión para el pabellón geriátrico son de 9,12 KW

Las pérdidas de calor por transmisión del hospital considerando para ello una temperatura de confort de 20 °C.

Tabla 9: Pérdidas de calor por transmisión del hospital.

Cerramiento	Coefficientes de transmisión U (W/m ² K)	Área m ²	Temperatura interna °C	Temperatura externa °C	Pérdidas de calor por transmisión Q (w)
Muro de concreto	2,22	677,71	20	9	14447,11
Piso de concreto con vinílico	3,29	425,12	20	8,2	16516,89
Piso de concreto con cerámica	3,33	1510,28	20	8,2	59275,41
Techo del hospital aislado	0,05	1835,16	20	9	960,96
Ventanas de hierro	6,51	245,73	20	9	17597,02
Ventanas de aluminio	6,75	187,40	20	9	13915,02
Puerta de metal (30% a 60%)	5,73	13,2117	20	9	769,70
Puerta de aluminio	5,97	18,15	20	9	1191,91
Techo de madera	0,24	100,24	20	9	266,33
Pared de madera	0,29	121,03	20	9	387,99
				Qt	125328,36

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 9 se obtuvo que las pérdidas de calor por transmisión para el hospital son de 125,32 KW

Las pérdidas de calor por transmisión de la sala cuna considerando para ello una temperatura de confort de 20 °C.

Tabla 10: Pérdidas de calor por transmisión para la sala cuna.

Cerramiento	Coefficientes de transmisión U (W/m ² K)	Área m ²	Temperatura interna °C	Temperatura externa °C	Pérdidas de calor por transmisión Q (w)
Muro de concreto	2,22	49,1464	20	9	1200,96
Piso de concreto con vinílico	3,29	37,8	20	8,2	1468,62
Piso de concreto con cerámica	3,33	50,44	20	8,2	1979,67
techo del hospital aislado	0,05	46,96	20	9	24,59
Ventanas de hierro	6,51	11,17	20	9	800,08
Ventanas de aluminio	6,75	6,555	20	9	486,71
Puerta de metal (30% a 60%)	5,73	13,4708	20	9	849,06
Techo de madera	2,27	41,28	20	9	1030,20
Pared de madera	0,29	39,045	20	9	125,16
				Qt	7965,04

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla se obtuvo que las pérdidas de calor por transmisión para la sala cuna son de 7.965,04 W.

Ahora las pérdidas totales por transmisión del pabellón geriátrico el hospital y la sala cuna son 142,41 KW.

5.3 Determinación de las pérdidas de calor por infiltración de aire

La infiltración de aire es la cuota de aire frío proveniente del exterior que debe calentarse para adquirir la temperatura determinada para el interior del box u oficina. El aire exterior puede entrar al edificio por puntos como cerramientos permeables, a través de las infiltraciones o rendijas de puertas y ventanas cuando éstas se encuentran cerradas y también cuando están abiertas, entre otros.

5.3.1 Método de infiltración por fisuras

Lo primero es determinar el volumen de aire infiltrado, para lo cual debemos determinar la longitud de las rendijas y el coeficiente de infiltración, el cual es determinado dependiendo de la velocidad del viento y el tipo de ventana que se encuentra en la zona de emplazamiento del hospital y las demás estructuras evaluadas.

La velocidad del viento calculada por el explorador de energía eólica de la página del Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, dio como resultado una velocidad de viento de 2,7 m/s.

Para determinar el coeficiente de infiltración se debe elegir el tipo de ventana a considerar, la tabla 11 muestra dos tipos de ventanas y su coeficiente de infiltración.

Tabla 11: Coeficiente de infiltración expresado en ($m^3/m \cdot h$).

	Velocidad del viento en (Km/h)
--	--------------------------------

Tipos de ventanas	8	16	24
Ventana de madera (normal)	0,65	1,95	3
Ventana metálica (normal)	2	5	7,5

Fuente: Elaboración propia.

Se consideró una ventana metálica (normal) y una velocidad de viento de 2,7 m/s (9,72 Km/h), luego de interpolar para obtener el coeficiente de infiltración que corresponde a las especificaciones antes señaladas que dio como resultado un valor de 2,6 m³/m·h.

El volumen de aire infiltrado se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$VA_f = F \cdot L$$

Dónde:

VA_f : Volumen de aire infiltrado por las fisuras [m³/h].

F : Coeficiente de infiltración [m³/m·h].

L : Longitud de fisuras consideradas [m].

Una vez determinado el volumen del aire infiltrado por el método de infiltración por fisuras, la cantidad de calor necesaria para llevar este aire a la temperatura interior, se determina mediante la fórmula.

$$Q_v = V_a \cdot (t_i - t_e) \cdot c_v$$

Dónde:

Q_v : Pérdida por ventilación o infiltración [Kcal/h].

V_a : Volumen de aire infiltrado [m³/h].

c_v : Calor específico volumétrico del aire [Kcal/m³·°C].

t_i : Temperatura interior [°C].

t_e : Temperatura exterior [$^{\circ}\text{C}$].

Para el calor específico volumétrico del aire, se toma el valor de $0,3 \text{ Kcal/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Los cálculos de pérdidas de calor por infiltración de aire del pabellón geriátrico (asilo de ancianos) y la sala cuna se calcularán utilizando la fórmula anterior ya que son estructuras más pequeñas, en el caso del hospital se hará considerando la pared más fría debido a que es una estructura más grande.

La tabla 12 muestra las pérdidas de calor generadas en el pabellón geriátrico aplicando la fórmula anterior. Para este caso se consideraron 2 ranuras verticales y 2 horizontales de todas las ventanas del pabellón geriátrico (asilo de ancianos).

Tabla 12: Pérdidas de calor por infiltración de aire para el pabellón geriátrico.

Habitación	longitud de fisura (m)	VA_f (m^3/h)	Q_v (w)
Baño hombres	3,6	9,36	30,88
Baño mujeres	3,6	9,36	30,88
Bodega	3,24	8,424	27,79
Sala mujeres	7,12	18,51	61,08
Sala hombres	7,12	18,51	61,08
Sala de estar	31,52	81,95	270,44
Clínica	5,16	13,416	44,27
		Q_v total	526,46

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, las pérdidas de calor por infiltración de aire son de $526,46 \text{ W}$.

La tabla 13 muestra las pérdidas de calor generadas en la sala cuna aplicando la fórmula anterior. Para este caso se consideraron de igual manera que en el anterior 2 ranuras verticales y 2 horizontales de todas las ventanas de la sala cuna

Tabla 13: Pérdidas de calor por infiltración de aire de la sala cuna.

Habitación	longitud de fisura (m)	VA_f (m ³ /h)	Q_V (w)
Sala de juegos	9,4	24,44	80,65
Cocina	4,6	11,96	39,46
Comedor	6,4	16,64	54,91
Baños	6,4	16,64	54,91
Dormitorios	7	18,2	60,06
Baño de dormitorios	0	0	0
Oficina parvulario	4,6	11,96	39,46
Taller de herramienta	9	23,4	77,22
			406,69

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, las pérdidas de calor por infiltración de aire son de 406,69 W.

En el caso del hospital las pérdidas de calor por infiltración se calcularon considerando la pared más fría que es en este caso aquella con mayor número de ventanas que corresponde a la pared trasera con 10 ventanas.

De las ventanas con (6m de largo y 1,7 metros de ancho) se obtiene:

$$ventana = 6 \cdot 2 + 1,7 \cdot 2 = 15,4 m$$

Tenemos que la longitud de las ranuras de una ventana grande es de 15,4 m por ventana. Ahora considerando 10 ventanas con una longitud total de 154 m cada una y reemplazando en la fórmula se obtiene:

$$VA_f = 2,6 \frac{m^3}{m \cdot hora} \cdot 154m = 400,4 \frac{m^3}{hora}$$

El volumen de aire infiltrado a una velocidad de 9,74 km/h es de 400,4 m³/hora Y considerando un Cv= 0,3 kcal/hora. Las pérdidas de calor por infiltración de aire del hospital son:

$$Q_V = V_a \cdot (t_i - t_e) \cdot c_v = 400,4 \cdot (20 - 9) \cdot 0,3 = 1.321,32 W$$

Por lo tanto, las pérdidas de calor por infiltración de aire del hospital son de 1.321,32 W o 1,32 KW.

Ahora las pérdidas totales por ventilación del pabellón geriátrico el hospital y la sala cuna son 2,25 KW.

5.4 Determinación de las pérdidas de calor por suplementos

Se considerará como pérdidas de calor por suplemento a aquellas pérdidas de calor generadas por: la orientación del hospital, la interrupción del servicio y paredes frías. Para el cálculo de las pérdidas de calor por suplementos, se deberá calcular:

El factor de suplemento que es el porcentaje total a considerar proveniente de la suma de cada uno de los porcentajes de pérdidas consideradas. (Moreno,2012).

La expresión de cálculo del factor de suplemento viene dada por la fórmula.

$$\text{[Empty box for the formula expression]}$$

$$F_s = S_1 + S_2 + S_3$$

Dónde:

S_1 : Suplemento por orientación (pérdidas por orientación).

S_2 : Suplemento por interrupción (pérdidas por interrupción de servicio).

S_3 : Suplemento por pared fría (pérdidas por paredes frías).

Con el cálculo del factor de suplemento podemos calcular las pérdidas totales de calor por suplementos utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_s = F_s \cdot Q_t$$

Dónde:

Q_s : Pérdidas por suplementos [Kcal/h].

F_s : Factor de suplementos.

Q_t : Pérdidas por transmisión [Kcal/h].

5.4.1 Suplemento por orientación (S_1)

Tiene como fin compensar la exposición solar del edificio a calefaccionar, tomando en cuenta su orientación.

La tabla 14 muestra los porcentajes de cada una de las orientaciones; sur, suroeste, oeste, noroeste, norte, noreste, este, sureste.

Tabla 14: Porcentajes de pérdidas de calor por orientación.

Orientación	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
factor suplemento %	0	0,07	0,15	0,18	0,2	0,15	0,1	0,03

Fuente: Moreno, 2012.

Al momento de realizar los cálculos se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando la exposición solar es única se toma en cuenta esa.
- Si tiene dos adyacentes se toma en cuenta la de la esquina.
- Si tiene tres o más exposiciones, se toma la que proporcione mayor coeficiente.
- Cuando no exista exposición solar, no se aplica este suplemento.

Al momento de determinar el porcentaje de orientación de cada estructura se debe considerar la pared que posee la mayor cantidad de pérdidas:

Se considerará para estos solo la estructura del hospital ya que cuenta con la pared con más pérdidas de calor debido a su gran número de ventanas, esta se encuentra ubicada en la orientación noreste (NE), por lo tanto, el factor suplemento para el hospital es de un 0,15.

$$S_1=15\%$$

5.4.2 Suplemento por interrupción de servicio (S_2)

Es el que compensa las circunstancias en las cuales se produce ahorro energético, en el cual se interrumpe el servicio de calefacción durante un periodo de tiempo dentro de las 24 horas del día. Esto hace que cuando el servicio se ponga en marcha nuevamente se deba utilizar una mayor carga de energía calórica ya que hay que calentar el edificio hasta alcanzar el régimen normal.

El valor de este suplemento depende de los factores:

- Servicio interrumpido, aunque con marcha reducida durante la noche.
- Interrupción del servicio de 9 a 12 horas diarias.

- Interrupción del servicio de 12 a 16 horas diarias.

Permeabilidad media: es un coeficiente que depende del aislamiento térmico del recinto a calentar, y se obtiene mediante la fórmula.

$$P_m = \frac{Q_T}{S \cdot (t_i - t_e)}$$

Dónde:

P_m : Permeabilidad media [Kcal/h·m²·°C].

Q_T : Pérdidas por transmisión [Kcal/h].

S : Superficie de los cerramientos [m²]

t_i : Temperatura interior [°C].

t_e : Temperatura exterior [°C].

El cálculo de la permeabilidad media total considerara los metros cuadrados que cubren todas las estructuras, el pabellón geriátrico, el hospital y la sala cuna.

La superficie que cubren todas estas estructuras es de 76056,34 m² y un Q_T de 142,41 KW tiene una permeabilidad media de 20,6 Kcal/h·m²·°C.

5.4.3 Suplemento por pared fría (S₃)

Sirve para compensar la radiación del local, considerando a éste como un cuerpo caliente, ya que el confort se debe alcanzar en un tiempo no demasiado grande. Este suplemento dependerá de la permeabilidad del edificio siendo mayor cuando ésta así lo sea, esto es desde el punto de vista térmico.

Dado que el suplemento de interrupción de servicio y el suplemento de pared fría dependen de la permeabilidad térmica del edificio, se pueden evaluar ambos utilizando la siguiente tabla.

Tabla 15: Permeabilidad térmica del edificio.

Régimen de utilización	permeabilidad térmica media (kcal/h m ² °C)			
	0,1 a 0,3	0,3 a 0,7	0,7 a 1,5	>1,5
Ininterrumpido. Potencia reducida noche.	7	7	7	7
interrupción 9-12 horas	20	15	15	15
interrupción 12-16 horas	30	25	20	15

Fuente: Moreno, 2012.

Dado que la permeabilidad térmica media de todas las estructuras es de 20,6 Kcal/h·m²·°C el porcentaje de mayoración por suplementos por interrupción y pared fría es de 7 %. Utilizando la expresión de cálculo del factor de suplemento tenemos que el porcentaje de mayoración de las pérdidas de calor por transmisión es de un 22 %.

Remplazando los datos obtenidos en la siguiente fórmula tenemos:

$$Q_s = F_s \cdot Q_t = 0.22 \cdot 142.414,11\text{W} = 31.331 \text{ W}$$

La pérdida total de calor por suplemento de todas las estructuras es de 31.33 KW.

5.5 Demanda calórica total para calefaccionar

El estudio de las cargas térmicas para el ciclo de invierno permite determinar cuánto calor debe suministrar el sistema de calefacción para compensar las pérdidas de calor que se producen, lo cual permitirá la obtención de una temperatura confortable.

Normalmente se calcula dicha carga con las temperaturas invernales que se producen generalmente de noche, por lo que no se toma en consideración las ganancias de calor producidas por las fuentes internas (personas. Alumbrado, etc.).

La demanda calorífica de la pieza a calentar viene dada por la siguiente fórmula.

$$Q_0 = Q_T + Q_V + Q_S$$

Donde:

Q_0 : Demanda calorífica total [Kcal/h].

Q_T : Pérdidas de calor por transmisión [Kcal/h].

Q_V : Pérdidas de calor por ventilación o infiltración [Kcal/h].

Q_S : Pérdidas de calor por suplementos [Kcal/h].

Al obtener las pérdidas de calor por transmisión, infiltración de aire y suplemento, se obtiene las pérdidas de calor totales.

$$Q_0 = Q_T + Q_V + Q_S = 142,41 + 2,25 + 31,33 = 176,24 \text{ KW}$$

Por lo tanto, las pérdidas de calor totales son de 176,24 kW.

5.6 Cálculo de la potencia requerida

Para determinar la potencia de la caldera se suele aumentar la demanda calórica en un porcentaje de mayoración para cubrir errores que puedan producirse en los cálculos o posibles imprevistos.

Por lo tanto, si hacemos un supuesto de un porcentaje de mayoración del diez por ciento, la potencia calorífica de la caldera se obtendría mediante la fórmula.

$$P_e = Q_0 \cdot (1 + 0.10)$$

Dónde:

P_e : Potencia calórica de la caldera [Kcal/h].

Q_0 : Demanda calórica total del edificio [Kcal/h].

$$P_e = Q_0 \cdot (1 + 0.10) = 176,24 \text{ KW}(1 + 0.10) = 193,86 \text{ KW}$$

Por lo tanto, la potencia total requerida de la caldera para calefaccionar debe ser como mínimo de 193,86 KW.

Capítulo 6: Alternativas para renovar la caldera

6.1 Matriz de alternativas

Para determinar una caldera que pueda reemplazar a la actual y que permita responder de manera más eficiente a las necesidades actuales de calefacción, lavandería y servicios de agua sanitaria, se evaluaron los siguientes factores:

En un principio se debió calcular los requerimientos totales de calefacción actuales considerando para ello las estructuras que actualmente forman parte del hospital, lo cual dio como resultado una necesidad de:

- 193,86 kW de potencia total actual requerida para calefacción.

Luego de esto se consideró la renovación e instalación de un estanque de 1.200 litros de agua caliente sanitaria, el cual es resultado de la última mantención de la caldera (EFICAL-SEGCAL, 2015) por lo que se genera la segunda consideración:

- La caldera a cotizar debiera ser del tipo pirocubular o acuocubular para hacer aprovechamiento de la última mantención que incluye el estanque antes señalado, condensador, bombas inyectoras nuevas entre otros. Aunque un tipo diferente también se podrá incorporar al estudio.

Se debió considerar también que la caldera está conectada al sistema de lavandería el cual utiliza vapor, por lo cual la tercera consideración es para evitar un cambio total en maquinarias de lavandería.

- La caldera a cotizar debe ser una caldera generadora de vapor.

Considerando además la información proporcionada por don Juan Carlos Gallegos Saavedra, quien posee una certificación como operador de calderas de vapor de baja, mediana y alta presión. Y que además realizó un reemplazo en la caldera en estudio.

Sus recomendaciones fueron:

- Adquirir para la renovación una caldera de baja presión que permitirá ser utilizada por los mismos operarios y que cumplirá con los requerimientos actuales y futuros.
- La presión de la caldera debe ser de 5 Kg/cm².

Dadas las condiciones anteriores señaladas consideramos que las calderas a ser evaluadas deben ser aquella que genere hasta 1000 kg/Hr de vapor y que trabajen a baja presión con 5 Kg/cm² dado que la caldera actual es muy pequeña (J. gallegos, comunicación personal, 29 enero 2016) y el crecimiento del hospital ya es un proyecto en proceso.

En la matriz consideraremos las emisiones totales (Kg Co2/h) por petición del director del hospital Felipe Jiménez Pérez ya que los hospitales se encuentran actualmente obligados a considerar sus emisiones al medio ambiente para lograr certificaciones provenientes de la ACHEE (asociación chilena de la eficiencia energética).

Tabla 16: Pérdidas de calor por suplemento del pabellón geriátrico.

		A1	A2	A3
CARACTERÍSTICAS GENERALES	marca	BOSCH	BOSCH	PASCUALICCHIO
	modelo	UNIVERSAL CALDERA DE VAPOR U-HD	UNIVERSAL CALDERA DE VAPOR UL-S	CSB650 MARINA CGM 400
	valor (\$)	59.186.448	65.695.990	66.540.683
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	Aserrín (m3/h)	-	-	-
	Pellets (kg/h)	-	-	171,4
	Petróleo (kg/h)	-	61	-
	Gas licuado (m3/h)	26	-	-
	Gas natural	-	-	-
	Costo total (\$/h)	9880	36058,32	27938,2
EMISIONES DE CO2	Aserrín	-	-	-
	Pellets	-	-	-
	Diésel (Kg CO ₂ /ton)	-	3186	0
	Gas licuado (kg CO ₂ /m ³)	1.642	-	-
	Gas natural	-	-	-
	Emissiones totales (kg CO ₂ /h)	42692	191,16	0
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	Potencia (kW)	721	730	754
	Eficiencia (%)	91,6	90,5	93
	generación de vapor (kg/hr)	1 - 1000	1 - 1000	500-1000

Fuente: Elaboración propia.

Para la matriz de alternativas se consideró que los precios de los combustibles están sujetos a variaciones, en el caso del precio total las calderas bosch tienen un 30% adicional al precio que se presenta en euros en el anexo 3 y un costo fijo de transporte de \$1.335.033 (F, ribera, Robert Bosch S.A). Los precios utilizados para realizar los cálculos se presentan en la tabla 17 y las emisiones de CO₂ fueron extraídas de la tabla 41 del anexo 4.

Tabla 17: Costos de combustibles considerados.

combustible	costo
gas licuado (\$/m ³)	380
diésel (\$/kg)	591,12
aserrín (\$/m ³)	8330
pellets (\$/kg)	163

Fuente: Ministerio de energía, 2015.

6.2 Análisis de las alternativas

Para determinar la mejor alternativa según los criterios que permiten evaluar las calderas considerando eficiencia energética se utilizó el análisis multicriterio cuantitativo, más específicamente el método *Scoring*, el cual consistió en evaluar numéricamente las alternativas de calderas cotizadas permitiendo determinar cuál es la más recomendada.

6.2.1 Meta general del problema

Seleccionar la mejor alternativa al momento de determinar qué caldera será la que responda de mejor manera a las necesidades presentes en el hospital Clorinda Avello Santa Juana.

6.2.2 Alternativas

Las alternativas son los tres presupuestos de calderas, los cuales pertenecen dos a la marca Bosch y una tercera a la empresa Biomass.

Tabla 18: Costos de combustible considerados

		A1	A2	A3
CARACTERÍSTICAS GENERALES	marca	BOSCH	BOSCH	PASCUALICCHIO
	modelo	Universal caldera de vapor U-HD	Universal caldera de vapor UL-S	CSB650 marina CGM 400 parrilla móvil

Fuente: elaboración propia.

6.2.3 Criterios a emplear en la toma de decisiones

Los criterios que se presentan fueron definidos en la realización de la matriz en base a características determinadas como las más importantes al momento de elegir la mejor alternativa.

Tabla 19: Criterios a emplear en la toma de decisiones.

criterio	descripción
C1	precio en chile
C2	costo en combustible por hora
C3	emisiones totales de CO ₂
C4	potencia
C5	Eficiencia
C6	Mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

6.2.4 Asignación de la ponderación para cada uno de los criterios

La ponderación de los criterios cuenta con una escala del 1 al 5. Donde los de menor valor son menos importantes que los de valor más alto. Esta información se muestra en la tabla 20.

Tabla 20: Criterios a emplear en la toma de decisiones

Escala	Criterio
1	Muy poco importante.
2	Poco importante.
3	Importancia media.
4	Algo importante.
5	Muy importante.

Fuente: elaboración propia.

La ponderación de los criterios fue definida por don Felipe Jiménez (Director del hospital), Octavio paz (jefe administrativo) y Juan Gallego (operador de caldera certificado). Y se presentan en la tabla 21.

Tabla 21: Ponderación de cada uno de los criterios.

criterio	Ponderación W_i
C1	4
C2	5
C3	5
C4	2
C5	2

C6	3
----	---

Fuente: Hospital Clorinda Avello Santa Juana.

6.2.5 Establecer el rating de satisfacción para cada alternativa

Se estableció el *rating* de satisfacción para cada una de las alternativas empleando una escala de 7 puntos. Información que aparece en la tabla 22.

Tabla 22: Escala de *rating* de satisfacción.

Escala	Satisfacción
1	Extra bajo
2	Muy bajo
3	Bajo
4	Poco bajo
5	Medio
6	Poco alto
7	Alto
8	Muy alto
9	Extra alto

Fuente: Métodos cuantitativos aplicados a la administración.

Lo cual es aplicado a cada una de las alternativas mencionadas, donde en la tabla 22 A son las alternativas y C los criterios.

La tabla 23 muestra el resultado del estudio de cada criterio.

Tabla 23: Aplicaciones de la escala de rating de satisfacción.

Criterios / Alternativas	A1	A2	A3
C1	8	7	6
C2	7	5	6
C3	3	7	9
C4	7	7	5
C5	8	7	8
C6	4	4	8

Fuente: Hospital Clorinda Avello Santa Juana.

El C1 de la caldera A2 tiene un valor de 7 porque además de considerar un alto costo en combustible también se agrega la necesidad de comprar un tanque de almacenamiento para el combustible.

Cabe señalar que las mantenciones de las alternativas A1 y A2 tienen un precio bastante elevado en comparación de la alternativa A3 ya que las dos primeras deben ser realizadas por personas calificadas y consisten en revisar y limpiar las cañerías por donde circula el combustible a diferencia de la última señalada cuya limpieza puede ser realizada por el mismo encargado de operar ya que en esta solo se debe retirar las cenizas (J. gallegos, comunicación personal, 29 enero 2016).

6.2.6 Calcular el score para cada una de las alternativas

Aplicando la fórmula:

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

r_{ij} = rating de la alternativa j en función del criterio i

w_i = ponderación para cada criterio i

S_j = score para la alternativa j

Los resultados proyectados para cada una de las alternativas son presentados en la tabla 24.

Tabla 24: Aplicación del cálculo *Scoring*.

C/A	Ponderación W_i	Rating de la alternativa j en función del criterio i (R_{ij})		
		A1	A2	A3
C1	4	32	28	24
C2	5	35	25	30
C3	5	15	35	45
C4	2	14	14	10
C5	2	16	14	16
C6	3	12	12	24
		124	128	149

Fuente: elaboración propia.

6.2.7 Orden de las alternativas en función del Scoring

Ya obtenidos los resultados podemos observar que la “Caldera Pasqualicchio” representa el Score más alto el cual es de 149 puntos, es decir, la caldera de pellets Pasqualicchio es la mejor alternativa en el análisis técnico al momento de renovar el sistema de calefacción del hospital Clorinda Avello Santa Juana.

Capítulo 7: Análisis económico

Dado un creciente aumento en la demanda de calefacción y a las excesivas fallas debido a la antigüedad de la caldera se evaluará el cambio de esta por una caldera nueva que pueda mejorar la eficiencia del sistema de calefacción.

7.1 Datos económicos de la caldera actual

La caldera actual del Hospital Clorinda Avello Santa Juana es una caldera Igneotubular (tipo kewanee) del año 1964 el costo en pesos chilenos de esta no se encuentra actualmente en los registros del hospital.

Las mantenciones realizadas a esta caldera han ido creciendo considerablemente debido al alto desgaste de material que presenta, la tabla 25 muestra el detalle del costo asociado a cada una de las mantenciones las cuales fueron realizadas por la empresa EFICAL-SEGCAL (eficiencia y seguridad en calderas y sistemas calo portadores).

Tabla 25: Costos en mantención de la caldera actual del año 2011 al 2015.

año	especificaciones proveedor	Valor total. -IVA incluido (\$)	Anual (\$)
2011	Materiales mantención de tablero	1.053	282.921
	Materiales mantención de tablero	194.836	
	Cordón con autorecogida	1.014	
	Materiales mantención de tablero	66.402	
	Materiales mantención de tablero	19.616	
2012	Materiales de mantención	152.000	152.000
2013	Mantención preventiva y reparación de caldera	7.961.100	18.355.750

	Mantenimiento preventiva aumento de obras cabezal automático, puergas de fondo	10.394.650	
2014	Termómetro de resistencia y empaquetaduras	130.900	130.900
2015	Servicio de reparaciones y mantenciones varias. Incluye el suministro de estanques de ACS y de alimentación de agua a caldera nuevos; el suministro de dos bombas de alimentación de agua a caldera nuevas, etc.	22.479.100	22.479.100

Fuente: Mercado público, 2016.

La caldera actual suma un total de \$ 41.248.671 en gastos totales de mantención desde el año 2012 al 2015.

La caldera tiene tres operarios encargados de mantener la caldera funcionando, los cuales deben reponer combustible, controlar las llaves de vapor, la presión de la caldera, entre otras cosas. La tabla 26 muestra los sueldos del año 2015 de cada uno de estos operarios el cual varía dada la antigüedad de cada uno. (J. Salazar, comunicación personal, 30 octubre 2015).

Tabla 26: Sueldo de los operarios de la caldera actual.

operario	sueldo (\$)	Mensual (\$)
Juan Salazar	553.212	1.705.431
Ricardo Saavedra	457.067	
Marco Morales	347.576	

Fuente: Gobierno transparente, 2015.

La caldera en invierno trabaja de forma continua y su producción de vapor en KW dependerá del tipo de combustible utilizado, la tabla 27 nos muestra los cálculos obtenidos al evaluar las dos alternativas de combustibles que actualmente son utilizados. Se consideró una eficiencia del 80%.

Tabla 27: Producción total en KW en temporada de invierno.

Combustible	Producción con eficiencia del 80% (kW)
aserrín humedad <57%	154
aserrín humedad 57%	147,3
pellets	240,74

Fuente: elaboración propia.

El combustible utilizado hace unos años era solo el aserrín, pero actualmente dado el exceso en humedad presente en este, es que se generó la necesidad de agregar pellet como combustible adicional, sobre todo al momento de prender la caldera que es cuando más se necesita de un combustible seco y de mejor combustión. (J. Salazar, comunicación personal, 30 octubre 2015).

La tabla 28 muestra los costos asociados a la compra de combustible aserrín entre los años 2011 y 2014.

Tabla 28: Costo anual por compras de aserrín del año 2011 al 2014.

Año	Cantidad (m ³)	Precio unitario (\$)	Valor total. - IVA incluido (\$)
-----	----------------------------	----------------------	----------------------------------

2011	6000	4700	33.558.000
2012	6000	4.900	34.800.000
2013	3000	5.500	19.635.000
2014	6000	7.000	49.980.000
	144		1.199.520

Fuente: Mercado público, 2016.

Desde el 2011 hasta el 2014 el hospital acumula un gasto total en compra de combustible aserrín de \$ 104.372.520.

A partir del año 2015 se comenzó a utilizar aserrín y pellet, esto debido a que la humedad del aserrín superó el 50%, se compraron dos camiones de pellet de 14.000 Kg cada uno. La tabla 29 muestra la cantidad de combustible adquirido y los costos asociados a cada uno de ellos.

Tabla 29: Costo en el año 2015 en combustibles.

Año	combustible	Cantidad	precio unitario (\$)	Valor total. - IVA incluido (\$)
2015	aserrín (m3)	3000	8.330	24.990.000
	pellets (Kg)	28000	163	4.564.000

Fuente: Mercado público, 2016.

Los costos totales de compra en los dos combustibles suman \$29.554.000. donde el combustible de mayor precio es el aserrín.

Considerando todos los gastos que presenta la caldera actual del Hospital Clorinda Avello Santa Juana se obtuvo la siguiente tabla.

Tabla 30: Costo total anual de la caldera actual desde el año 2012 al 2015.

Año	Costo total (\$)
2011	35.546352
2012	36.657.431
2013	37.990.750
2014	51.310.420
2015	52.033.100

Fuente: Mercado público, 2016.

7.2 Análisis económico de las alternativas utilizando un enfoque Costo-Eficiencia.

Para realizar una evaluación económica mediante el enfoque Costo-Eficiencia cuyo objetivo es evaluar e identificar aquella alternativa de solución que presente el mínimo costo debemos calcular los indicadores económicos VAC y CAE.

Para el cálculo de los indicadores antes mencionados se requirió de la siguiente información.

- La tasa de interés promedio actual que presenta el SBIF (Superintendencia de Bancos e instituciones Financieras Chile) es de 6,2%. (SBIF, 2016).
- La vida útil contable en el SII (Sistema de Impuestos Internos) en el sector energético para equipos de generación de energía es decir las calderas es de 10 años (SII,2016).

La tabla 31 muestra los datos para cada alternativa y los costos asociados a cada una de las alternativas, donde los costos variables anuales son el costo en mantención (sueldo de operarios) y los costos de gastos en combustibles.

Tabla 31: Datos económicos de cada alternativa para reemplazar a la caldera actual.

	A1	A2	A3
Marca	BOSCH	BOSCH	PASCUALICCIO
Modelo	Universal caldera de vapor U-HD	Universal caldera de vapor UL-S	CSB650 marina CGM 400 parrilla móvil
Combustible	gas licuado	petróleo	pellet
Tasa de interés (%)	6,2	6,2	6,2
Precio (\$)	59.186.448	65.695.990	66.540.683
Costos en mantención (\$)	1.705.431	1.705.431	1.705.431
Costos en combustible (\$)	7.350.720	26.827.390	20.786.021
Vida útil (años)	10	10	10
Depreciación (\$)	5.918.645	6.569.599	6.654.068

Fuente: elaboración propia.

La tabla 32 muestra los resultados de los cálculos de VAC (valor actual de costos) y CAE (costo anual equivalente) de cada una de las alternativas, en donde se consideraron como costos totales a la suma de los costos en combustible y los costos en mantención.

Tabla 32: Cálculo de VAC y CAE.

	A1	A2	A3
Inversión	-59.186.448	-65.695.990	-66.540.683
Costo Combustible (\$)	88.208.640	321.928.681	249.432.250
Costo Mantención (\$)	20.465.172	20.465.172	20.465.172
Costo Total (\$)	108.673.812	342.393.853	269.897.422
VA	\$ 792.324.042	\$ 2.496.340.900	\$ 1.967.780.573
VAC (VA + Inversión)	\$ 851.510.491	\$ 2.562.036.890	\$ 2.034.321.256
CAE (Pago)	\$ 116.791.724,14	\$ 351.404.602,76	\$ 279.024.028,00

Fuente: elaboración propia.

El valor actual de costos (VAC) para la alternativa A1 es de \$851.510.491 para la alternativa A2 es de \$2.562.036.890 y para la A3 es de \$2.034.321.256. Como su nombre lo dice es el valor actual que tiene en costos cada una de las alternativas si observamos este indicador la mejor alternativa es la A1 ya que presenta el menor VAC.

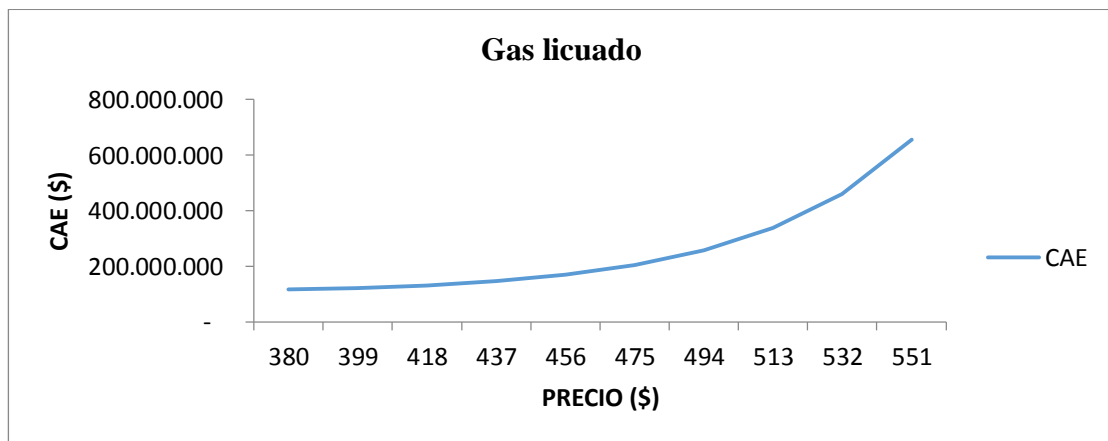
En nuestros análisis la vida útil en años es la misma ya que se considera la contable, esto puede cambiar y por eso se realizó también el análisis del CAE. El costo anual equivalente (CAE) es de \$116.791.724,14 para la A1, \$351.404.602,76 para la A2 y \$279.024.028,00 para la alternativa A3. La mejor alternativa según el CAE es la A1 ya que presenta el menor cae.

7.3 Análisis de sensibilidad sobre los combustibles

Un análisis de sensibilidad sobre los combustibles permitirá observar cómo varía el CAE cuando los costos en combustible presentan variaciones en su precio.

La figura 26 muestra el análisis de sensibilidad sobre el combustible gas licuado utilizado por la alternativa A1

Figura 26: Análisis de sensibilidad sobre el combustible gas licuado.

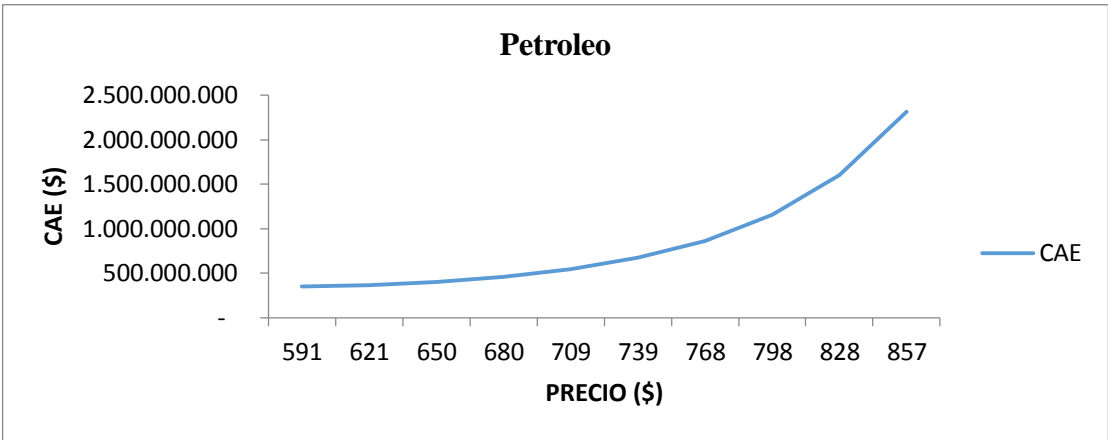


Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la figura que el CAE crece a medida que el precio del combustible aumenta. Si el precio de combustible aumenta un 30% el CAE duplicará su valor.

La figura 27 muestra el análisis de sensibilidad sobre el combustible petróleo utilizado por la alternativa A2

Figura 27: Análisis de sensibilidad sobre el combustible petróleo.

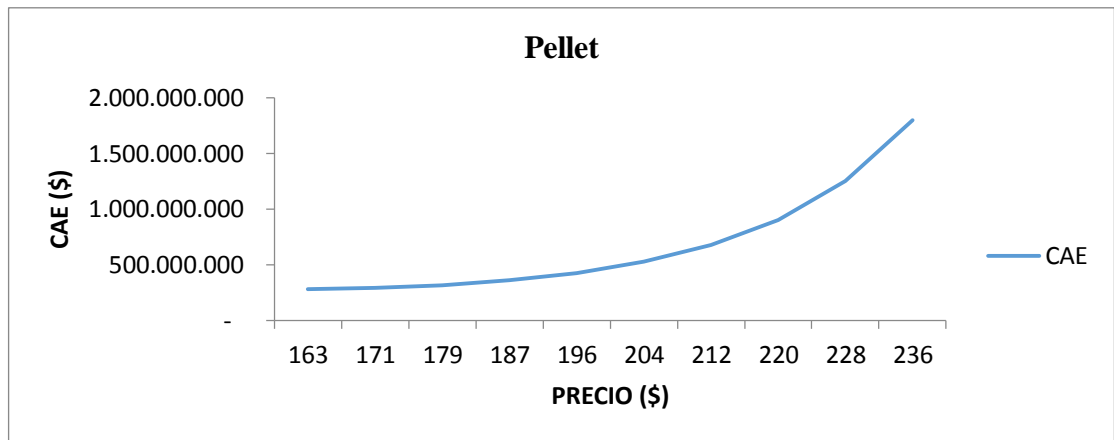


Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en la figura anterior el CAE aumenta a medida que el precio del petróleo aumenta.

La figura 28 muestra el análisis de sensibilidad sobre el combustible pellet utilizado por la alternativa A3

Figura 28: Análisis de sensibilidad sobre el combustible pellet

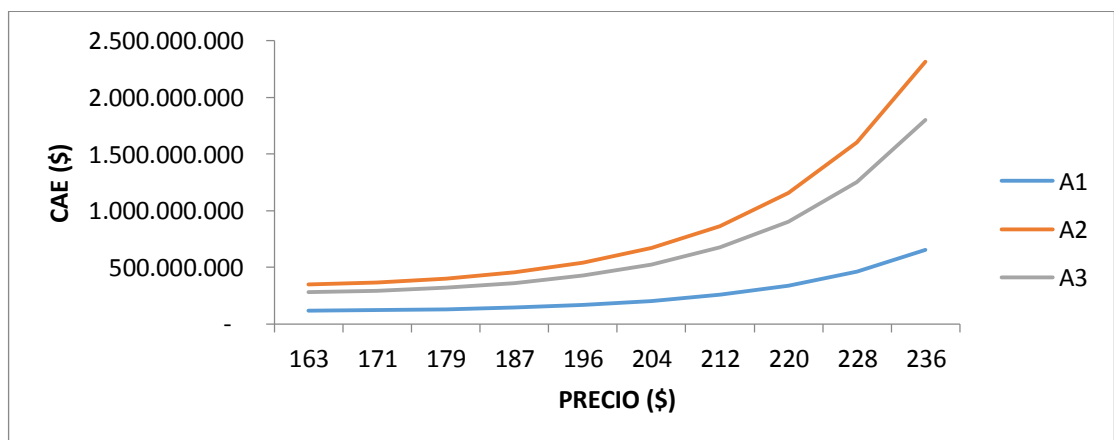


Fuente: Elaboración propia.

Al igual que los análisis de sensibilidad de gas licuado y petróleo, el análisis de sensibilidad sobre el combustible pellet el CAE presenta un mismo comportamiento, un visible aumento en su crecimiento cuando el precio del combustible aumenta.

La figura 29 muestra el análisis de sensibilidad sobre el CAE de los tres combustibles; gas licuado A1, diésel A2 y pellet A3.

Figura 29: análisis de sensibilidad sobre los tres combustibles.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que si los precios en los costos de los combustibles gas licuado, diésel y pellet aumenta en todos los casos el CAE aumenta, pero en el caso del gas licuado tiene una pendiente menor, esto quiere decir, que si este combustible presenta un aumento en el costo el crecimiento del CAE será más lento que el de la otra alternativa, por lo tanto, A1 sería la mejor alternativa.

Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

1. Dada la antigüedad de la caldera actual el sistema de calefacción ya no es apropiado, en los últimos años el costo de mantención ha aumentado considerablemente debido a que partes importantes de la red que utiliza la caldera para su funcionamiento han tenido que ser reemplazadas, estas soluciones son solo temporales ya que el deterioro total de la caldera ya es muy elevado.
2. El combustible actual aserrín ya no se puede adquirir en las condiciones óptimas que la caldera necesita, debido al gran porcentaje de humedad que presenta y la mezcla de este con pellet es efectiva, pero genera un aumento en el costo total de combustible.
3. Si quisieran reemplazar la caldera actual por una caldera a gas licuado, el hospital ya cuenta con una línea de abastecimiento y el costo en dicho combustible no es elevado, pero el gas licuado es altamente contaminante y esto afectaría en gran medida a aumentar la contaminación de CO_2 al medio ambiente y sería un impedimento al momento de querer participar de proyectos directamente relacionados con mejorar la eficiencia energética en los hospitales de Chile por la ACHEE (agencia chilena de eficiencia energética) para los cuales el hospital actualmente ya está participando.
4. Si quisiera reemplazar la caldera actual por una caldera a diésel, se requiere la compra e instalación de un estanque para almacenar el combustible, el costo de combustible es más elevado que en cualquiera de las otras dos alternativas analizadas, pero a favor cuenta con un porcentaje menor en emisiones de CO_2 al medio ambiente.

5. Si consideramos las mantenciones que deben realizarse a las calderas dado un determinado tiempo de utilización las cuales se ajustan a su respectivo modelo y marca, cabe destacar que las calderas a gas licuado y a diésel requieren de mantenciones de un costo más elevado que una caldera a pellet ya que esta última solo requiere de la extracción de las cenizas por el mismo operador a diferencia de las otras que requieren de una empresa calificada para ello.
6. Si consideramos el almacenamiento del combustible, una caldera a biomasa es la mejor opción ya que el hospital Clorinda Avello santa juana cuenta con galpones de acopio de aserrín que pueden ser utilizados para en este caso guardar el pellet. Además, cabe señalar que las emisiones de CO_2 al medio ambiente producidas por la biomasa pellet son cero.
7. El análisis económico da como resultado que la alternativa de reemplazar la caldera actual por una caldera a vapor bosch modelo U-HD a gas licuado es la mejor ya que tiene un VAC de \$ 851.510.491 y un CAE de \$ 116.791.724,14.
8. Al momento de elegir el tipo y tamaño del radiador para cada uno de los bóxer y pasillos se debe recurrir a las tablas del anexo 2 las cuales entregan el valor de la potencia requerida para calefaccionar y lograr un ambiente de confort.

8.2 Recomendaciones

1. Crear una política energética que se encargue de velar por el uso correcto de la energía dentro de las estructuras que forma parte del hospital que permita incentivar y crear conciencia a los funcionarios a ahorrar y ocupar la energía de mejor manera.

2. Evitar el exceso de pérdidas de calor por filtración de aire frío implementando sistemas aislantes para ventanas puertas y muros que permitirá la mejor utilización de la calefacción.
3. Implementar una serie de luces en pasillos y boxes que se enciendan con sensores de movimiento que eviten gastos innecesarios de energía eléctrica.
4. Estudio y revisión completa del sistema de tubos que permiten distribuir la calefacción a cada uno de los radiadores que forman parte del circuito de calefacción, además de purgar los radiadores antes de que comiencen los turnos de invierno.

Bibliografía

Anthony L. Kohan (2000). Manual de calderas, principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas (1era ed.). España: McGraw-Hill.

Domínguez J., Cid J., Martínez J., (2004). Guía básica, calderas industriales eficientes. Arias montano, S. A.

Luna J., (2012). Guía sobre ahorro y eficiencia energética en comunidades de propietarios. Arias montano, S. A.

Díaz V., Barreneche R. (2005). Acondicionamiento térmico de edificios. Argentina: Nobuko.

Martin R. (2003). Instalaciones de calefacción (1era ed.). Barcelona, Editorial UOC.

Erich A. Müller. (2002). Termodinámica básica. Caracas, Venezuela: Consultora Kemiteknik C.A.

Biomass technology (2015) Lista de precios. Recuperado (5 de diciembre, 2015) de <http://www.biomass.cl>

ACHEE: Agencia chilena de eficiencia energética (2013) de <http://www.acee.cl/search/node/hospitales>.

Agencia chilena de eficiencia energética (2013). proyectos PEEEP 2014 de implementación en dos hospitales públicos de Chile. Recuperado (8 de agosto, 2014) de <http://www.acee.cl/noticia/fueron-adjudicados-los-proyectos-peeep-2014-de-implementacion-en-dos-hospitales-p-blicos-de#sthash.diGfFmLh.dpuf>

Sapag. (2008). preparación y evaluación de proyectos. Santiago, Chile: McGraw-Hill.

Rey F, Velazco E. (2005). bombas de calor y energías renovables en edificios. Madrid, España: Thomson.

Linkografía:

<http://www.hospitalsantajuana.cl>

<http://www.gobiernotrasparentechile.cl>

<http://www.mercadopublico.cl>

<http://www.energia.gob.cl>

<http://www.biomass.cl>

<http://www.bosch-industrial.com>

<http://www.google.cl/maps>

<http://home.sii.cl/>

<http://www.sbif.cl/>

Anexo 1:
**Tablas de cálculo del Coeficiente de
conductividad térmica**

Tabla 33: Tipos de cerramientos y coeficientes de conductividad térmica.

	Ladrillo macizo (m ²)	Cemento (m ²)	Cerámico (m ²)	Madera (m ²)	Aire (m ²)	Lana de vidrio (m ²)	Estuco de cemento (m ²)	Vinílico (m ²)	Hormigón armado (m ²)	Zinc (m ²)	U (w/m ² k)
Muro de concreto	0,2		0,01				0,06				2,221
Pared de madera				0	0,08						0,291
Piso de concreto con vinílico		0,12						0			3,293
Piso de concreto con cerámico		0,12	0								3,326
Piso de madera				0	0						2,269
Techo del hospital aislado					0,5	0,05			0,12	0	0,048
Techo de madera				0	0,1					0	0,242
Ventanas de hierro											6,51
Ventanas de aluminio											6,75
Puerta de metal (30% a 60%)											5,73
Puerta de madera				0	0,05						0,506
Puerta de aluminio											5,97

Fuente: elaboración propia.

La tabla muestra los coeficientes de conductividad térmica de cada uno de los cerramientos que permitieron calcular los coeficientes de transmisión de los cerramientos (U w/m^2k), para determinar las pérdidas de calor de las estructuras que forman parte del hospital, sala cuna y pabellón geriátrico.

Tabla 34: Coeficientes de conductividad térmica.

material	w/m^*k
Ladrillo macizo	0,87
Cemento	1,4
Cerámica	0,81
Madera	0,13
Aire	0,026
Lana de vidrio	0,032
Vinílico	0,25
Hormigón armado	1,63
Zinc	106

Fuente: elaboración propia.

Cada material presenta por si solo un coeficiente de conductividad térmica, la tabla muestra los valores de los coeficientes utilizados para calcular los coeficientes de conductividad térmica de los cerramientos.

Tabla 35: Valores de resistencia térmica.

Flujo	$1/h_i$	$1/h_e$
Horizontal	0,13	0,04
Vertical ascendente	0,1	0,04
Vertical descendente	0,17	0,04

Fuente: elaboración propia.

La resistencia térmica a utilizar en la fórmula va a depender del flujo, la tabla muestra qué valor toma cada uno de ellos dependiendo de si es horizontal, vertical ascendente o vertical descendente.

Anexo 2:

Tablas de cálculo de Pérdidas de calor y potencia total requerida para calefaccionar

Tabla 36: Total de pérdidas de calor por transmisión y ventilación del pabellón geriátrico.

	Qt (w)	Qv (w)	Qt (W) + Qv (w)
baño hombres	1273,69	30,89	1304,58
baño mujeres	1273,69	30,89	1304,58
bodega	521,12	27,80	548,92
sala mujeres	1726,68	61,09	1787,77
sala hombres	2713,13	61,09	2774,22
sala de estar	931,74	270,44	1202,18
clínica	680,66	44,27	724,93
	9120,70	526,46	9647,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla 37: Total de pérdidas de calor por transmisión y ventilación de la sala cuna.

	Qt (w)	Qv (W)	Qt (W) + Qv (w)
Sala de juegos	1540,99	80,65	1621,65
Cocina	484,35	39,46	523,81
Comedor	1460,32	54,91	1515,23
Baños	459,79	54,91	514,70
Dormitorios	1483,47	60,06	1543,53

Baño de dormitorios	180,58	0,00	180,58
Oficina parvulario	674,05	39,46	713,52
Taller de herramienta	1681,49	77,22	1758,71
	7965,04	406,69	8371,73

Fuente: elaboración propia.

Tabla 38: Total de pérdidas de calor por transmisión del hospital.

Habitación	Qt (w)
Sala a	2740,26
Sala b	2388,38
Box maternal	1108,46
Bodega	133,63
Máquinas	1189,87
Kinesiólogo	865,55
Oficina gremial	310,35
Baño de oficina gremial	310,35
Sala de acogida	1189,87
Sala niños 5	1189,87
Pensionado	1031,22
Sala mujeres 4	2300,41
Sala mujeres 3	2388,38
Aislamiento mujeres	1108,46
Bodega	310,35

Aislamiento hombres	1108,46
Aseo	310,35
Sala hombres 2	2388,38
Sala hombres 1	2300,41
Curación	1279,29
Baño enfermos	942,07
Ginecología	774,57
Ginecología lavabo	50,4
Aseo	76,36
Baño	101,82
Médico	242,56
Baño médico	76,36
Bienestar capacitación	159,09
Estar matrona	315,01
dormitorio matrona	157,5
Recepción	325,35
Muestras	672,37
Baño enfermos	919,8
Curación	919,8
Estar enfermera	919,8
Oficina enfermera	919,8
Estar médicos	919,8
Periférica cocina	489,99
Baños	489,99
Estar enfermera	919,8
Clínica	919,8
Reposo internos	919,8

Pieza enfermera	952,67
Sala de partos	1466,86
Sala de partos "	720,39
Hall pre pabellón	756,02
Hall pre pabellón "	567,01
Hall pre pabellón '"	70,88
Sala de operaciones	945,02
Baños para auxiliares hombres	2062,67
Baños para auxiliares mujeres	2351,87
Bodega farmacia	1180,56
Farmacia	1864,67
Entrega de leche	66,82
Box psicólogo	403,8
Box enfermera	842,32
Espera infantil	1823,18
Box psicólogo	812,74
Box vacunatorio	669,23
Clínica niño sano	1546,31
Baños espera infantil	133,63
Sala IRA	776,92
Sala IRA "	369,58
Servicio social	155,63
Portero	526,08
Estadísticas	812,74
Box dental	1433,04
Oficina personal	808,62

Secretaria	746,42
Oficina director	1530,51
Policlínico	1238,37
Box médico 1	761,67
Box médico 2	761,67
Box médico 3	761,67
Policlínico control	761,67
Urgencias	4740,51
Entrada urgencias	1950,39
Some	1167,22
Archivo Some	535,91
Contabilidad	548,85
Baños sala de espera hombres	227,49
Baños sala de espera mujeres	330,13
Cámara oscura	236,08
Bodega	200,45
Rayos X	858,65
Oficina jefe administrativo	89,09
Accidentes laborales	144,77
OIRS	310,22
Box nutrición	286,36
Camillas	167,04
Abastecimiento	1771,75
Sala con baño	588,4
Oficina	588,4
Fenats	588,4

Comedor personal	2087,11
Cocina	4340,13
Reposero	1342,93
Dispensa	948,1
Estar conductor	895,24
Pasillo interior 2	206,81
Pasillo 1	8665,46
Pasillo 2	3169,47
Pasillo de espera a consultas médicas	6887
Pasillo 3	4828,37
Reposición sala chile crece contigo	3795,25
Oficinas nuevas	3967,05
Total	125328,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla 39: Pérdidas totales por transmisión, ventilación y suplementos de todas las estructuras.

Qt (KW)	Qv (KW)	Qs (KW)	Qo (KW)	Pe (KW)
142,41	2,25	31,33	175,99	193,59

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3:
Cotizaciones de calderas a gas, pellets y fuel

3.1 Certificado de Don Juan Carlos Gallegos Saavedra.



CERTIFICADO DE COMPETENCIA N° 189

Se certifica que D. **JUAN CARLOS GALLEGOS SAAVEDRA.**, cédula de identidad N° 10.485.882-1, posee los conocimientos necesarios para desempeñarse como **OPERADOR DE CALDERAS DE VAPOR DE BAJA, MEDIANA Y ALTA PRESIÓN** y ha quedado inscrito con el N° **16/2015**, del registro de ésta SEREMI de Salud.

Se otorga el presente Certificado, en cumplimiento al Reglamento de Calderas, Autoclaves y equipos que utilizan Vapor de Agua, aprobado por D.S. N° 10 de 2012, del Ministerio de Salud y tendrá validez nacional.

POR FACULTAD DELEGADA DE LA SEREMI DE SALUD REGION DEL BIO BIO, SEGÚN RES.EXENTA N° 5824/2014


ING. (E) JORGE CONCHA PALACIOS
JEFE OFICINA TALCAHUANO
SECRETARÍA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD
REGIÓN DEL BIO BIO

MSM/VV/mvn
Talcahuano, **170 MAR. 2015**
Solicitud N° 317/11-2-2015.

Figura 30: Certificado vitalicio de operador de calderas de vapor de baja mediana y alta presión.

Fuente: Ministerio de salud, 2015.

3.2 Caldera BOSCH a gas licuado.

Thermotechnology



Joselyn Farru
Ingeniería civil industrial UCSC
Hospital Santa Juana
Santa Juana
Región del Bío Bío
CHILE

Robert Bosch S.A.
Termotecnología
El Cacique 258
Providencia
Santiago

Felipe Ribera,
Teléfono +56 2405 5590, Móvil +56 7987 3061
felipe.ribera@cl.bosch.com, Ntra. Ref.: FRB

08. March 2016

Proyecto ref.: Caldera de Vapor 1 x 1000 Kg/hr - Hospital Santa Juana

Customer number:
Nuestro Proyecto No.: 176483/2; 43
Nuestra oferta No.: 1169009953-43

Estimadas/os Señoras/es,

En referencia a su petición, nos place adjuntar a continuación nuestra oferta detallada.

Nuestra cotización está basada en las Condiciones de Venta y Suministro adjuntas y es sin obligación hasta confirmación definitiva.

Para información detallada sobre las ventajas especiales del diseño y equipamiento de nuestros sistemas de caldera y componentes de salas de calderas, rogamos sean tan amables de consultar la descripción detallada en la oferta así como los folletos adjuntos.

Detalles técnicos tales como potencias, valores de consumos y dimensiones están disponibles en las hojas técnicas y especificaciones adjuntas.

En caso de precisar cualquier explicación adicional o asesoramiento técnico experto, por favor, no duden en consultarnos.

Figura 31: Cotización caldera de vapor Bosch.

Fuente: Felipe R,2016.

Resumen de precios

Posición	Descripción	Amount	Precio Unitario	Precio neto total
01	Planta de caldera de vapor	1		
01.01	UNIVERSAL U-HD	1		
01.01.01	Caldera y equipamiento	1		
01.01.02	Panel de control de la caldera	1		
01.01.03	Equipo de combustión	1		
01.01.04	Módulo de regulación de gas GRM	1		
01.01.05	Módulo contador de gas GMM	1		
01.01.06	Módulo de bomba PM	1		
01.01.06.01	Módulo(s) Bomba	2		

Precio neto total	59.441,85
-------------------	-----------

Todos los precios indicados en Euros.

Figura 32: Resumen de precio, caldera bosch a gas licuado.

Fuente: Felipe R, 2016.

Datos técnicos

Posición	Descripción		
	Característica	Unidad	Valor
	Datos generales		
	País de destino	-	Chile
	Situación	-	interior
	Condiciones de ensamblaje y operación	-	Libre de heladas, polvo así como de goteras
	Altura máxima de instalación sobre el nivel del mar	m	7
	Temperatura ambiente mínima	°C	20
	Temperatura ambiente máxima	°C	40
	Voltaje	V	400
	Fluctuaciones máximas de voltaje +/-	%	5
	Conductor neutro	-	sí
	Conexión tierra	-	sí
	Frecuencia	Hz	50
	Fluctuaciones de frecuencia máx. (+/-)	%	1
	Conexión directa hasta	kW	5,5

Figura 33: Datos técnicos, caldera bosch a gas licuado.

Fuente: Felipe R, 2016.

3.3 Caldera BOSCH a diésel.

Thermotechnology



Página 3 de Oferta número 1169010083-57 a Robert Bosch S.A., Santiago

10.03.2016

Resumen de precios

Posición	Descripción	Amount	precio Unitario	precio neto total
01	Planta de caldera de vapor	1		
01.01	UNIVERSAL UL-S	1		
01.01.01	Caldera y equipamiento	1		
01.01.02	Panel de control de la caldera	1		
01.01.03	Equipo de combustión	1		
01.01.04	Módulo de bomba PM	1		
01.01.04.01	Módulo(s) Bomba	2		
01.01.05	Oil circulation module OCM	1		
Precio neto total				66.130,35

Todos los precios indicados en Euros.

Figura 35: Resumen de precio, caldea bosch a diésel.

Fuente: Felipe R, 2016.

Datos técnicos

Posición	Descripción		
	Característica	Unidad	Valor
	Datos generales		
	País de destino	-	Chile
	Situación	-	interior
	Condiciones de ensamblaje y operación	-	Libre de heladas, polvo así como de goteras
	Altura máxima de instalación sobre el nivel del mar	m	7
	Temperatura ambiente mínima	°C	20
	Temperatura ambiente máxima	°C	40
	Voltaje	V	400
	Fluctuaciones máximas de voltaje +/-	%	5
	Conductor neutro	-	sí
	Conexión tierra	-	sí
	Frecuencia	Hz	50
	Fluctuaciones de frecuencia máx. (+/-)	%	1
	Conexión directa hasta	kW	5,5

Figura 36: Datos técnicos, caldera bosch a diésel.

Fuente: Felipe R, 2016.

3.4 Caldera PASQUALICCHIO a pellet

CALDERA MARINA CSB (Modelos de 25 A 5.000 KW)



Figura 37: Caldera marina CSB modelo de 25 a 5.000 KW.

Fuente: Biomass,2016.



CALDERA CT PASQUALICCHIO MARINA CSB (PELLETS, ASTILLAS, LEÑA Y OTRAS BIOMASAS)

AMPLIO STOCK EN PLAZA
CONSULTE POR EQUIPOS EN STOCK

CHIPS DE MADERA, VIRUTAS, PELLETS, NOCCIOLINO,
CASCARAS NUEZ, Y OTRAS BIOMASAS TRITURADAS.

TODOS LOS EQUIPOS Y OPCIONALES PARA IMPORTACIÓN.

PRECIOS SANTIAGO CHILE

PRECIOS DE LA CALDERA BASE , SE DEBEN AGREGAR LOS
OPCIONALES PARA CONFIGURAR EL PEDIDO DE SU CALDERA.

Modelo	Código	Potencia Global Kcal/hora	Potencia Nominal Kw	Potencia Global Kcal/h	Potencia Global Kw	VALOR EUROS NETO
CSB39	Marina CSB39	40.000	46,00	46.000	53,36	€15.825
CSB40	Marina CSB40	40.000	46,00	46.000	53,36	€15.825
CSB60	Marina CSB60	60.000	68,00	68.000	78,88	€17.500
CSB80	Marina CSB80	80.000	92,00	91.000	105,56	€19.244
CSB99	Marina CSB99	99.000	114,84	115.000	133,40	€20.904
CSB130	Marina CSB130	130.000	150,80	148.000	171,68	€30.031
CSB180	Marina CSB180	180.000	208,80	205.000	237,80	€35.013
CSB230	Marina CSB230	230.000	266,80	262.000	303,92	€40.149
CSB300	Marina CSB300	300.000	348,00	341.000	395,56	€52.576
CSB400	Marina CSB400	400.000	464,00	455.000	527,80	€63.000
CSB500	Marina CSB500	500.000	580,00	569.000	660,04	€73.385
CSB650	Marina CSB650	650.000	754,00	739.000	857,24	€87.304
CSB800	Marina CSB800	800.000	928,00	909.000	1054,44	€99.942
CSB950	Marina CSB950	950.000	1102,00	1.080.000	1252,80	€112.560
CS1350	Marina CSB1.350	1.350.000	1.566,00	1.646.000	1.909,40	€130.009
CS1600	Marina CSB1.600	1.600.000	1.856,00	1.945.000	2.262,00	€146.333
CS 2000	Marina CSB 2.000	2.000.000	2.320,00	2.440.000	2.830,00	€162.789

PRECIOS DE LOS EQUIPOS BASES; QUE SE DEBEN COMPLEMENTAR CON LOS ACCESORIOS A ELECCION.
TODOS LOS EQUIPOS DISPONIBLES PARA IMPORTACIÓN DIRECTA.

EQUIPOS A PEDIDO SOBRE 100KW . CONSULTAR STOCK

Figura 38: Precios caldera Pasqualicchio marina CSB.

Fuente: Biomass, 2016.

OPCIONALES PARA CALDERAS CT PASQUALICCHIO MARINA CSB (PELLETS LEÑA ASTILLAS Y OTRAS BIOMASA)

CODIGO	ACCESORIOS Y CONFIGURACIÓN DE LA CALDERA	MODELO	VALOR EURO NETO
PS	Producción de agua caliente sanitaria con serpentín en cobre con aletas desmontables también opera como sistema de enfriamiento de seguridad. (Obligatorio)	de 25 a 99	€955
GD	Caja de control eléctrico y protección (solo para modelos de alimentación trifásica)	de 130 a 950 de 1350 a 2000	€4.009 €5.824
EC	Dispositivos de eliminación de cenizas automático. (Muy recomendable)	de 60 a 99 de 130 a 500 de 650 a 950 de 1350 a 2000	€2.329 €2.540 €3.915 €5.918
ECC	Extracción de cenizas en zona de chimenea		€1.718
REF	Cámara de combustión con revestimiento en ladrillo refractario 1300° C (Opcional)	de 25 a 99 de 130 a 230 de 300 a 500 de 650 a 950 de 1350 a 2000	€1.060 €2.100 €3.809 €6.300 €12.218
TBCS	Turbadores para ductos de humos internos (excluye el sistema de limpieza automatica)		5%
ST	Válvula de Agua contra incendio que genera una protección extra a los sistemas incluidos en la caldera ante el fuego de retorno por el tornillo de carga (Obligatorio)		€611
ECC	Predisposición del quemador para encendido		€440
PH	Encendido automático	34 a 650 800 a 2000	€1.718 €3.342
T60	Tolva de contenido de combustible (60x60) estándar CS 25 -99 200 Lt (130 kg)		€1.051
T80	* peso estimativo por pellets (80x80) estándar CS 130-230 -600 Lt (400 kg)		€1.909
T100	(100x100) estándar CS 300-950 -950 Lt (620 kg)		€20.427
MTC20	Multiciclón para filtra el material particulado.	de 25 a 99	€22.509
MTC30	El precio del multiciclón incluye los sistema de aspirado de gases, pero no incluye: accesorios y la chimenea.	de 130 a 230 de 300 a 500	€28.236
MTC40		de 650 a 950 de 1350 a 2000	€38.278 €46.849
PC1 (cm)	Extensión del tornillo sin fin hasta 1 metro	de 25 A 130	€425
PC2 (cm)	cada 1 metro extra	de 25 a 130	€725
PC3 (cm)	hasta 1 metro	de 180 a 950	€860
PC4 (cm)	cada 1 metro extra	de 180 a 950	€1.451
PC5 (cm)	hasta 1 metro	de 1350 a 2000	€2.100
PC6 (cm)	cada 1 metro extra	de 1350 a 2001	€2.733
POS	Torn Conexión posterior del tornillo de carga de la caldera. (solo modelos de 25 a 99)	de 25 a 99	€611
GSM	Modulo GSM , conexión remota	todos	€936
	Sistema de limpieza automático de los ductos con aire comprimido	de CS 25 a 99 de CS 130 a 230 de CS 300 a 650 de CS 800 a 950 de CS 1.350 a 2.000	€2.502 €9.545 €12.409 €18.576 €36.713

Figura 39: Accesorios para caldera Pasqualicchio.

Fuente: Biomass, 2016.

CSB Marina » Informazioni Tecniche

	Tramoggia standard H100						Tramoggia standard H130										
Modello	CSB34	CSB40	CSB60	CSB80	CSB99	CSB130	CSB180	CSB230	CSB300	CSB400	CSB500	CSB650	CSB800	CSB950	CS1350	CS1600	CS2000
Potenza																	
Focolare [kW]	34,28	56,36	78,88	105,56	136,88	171,68	237,80	303,92	395,56	527,80	660,04	857,24	1054,44	1252,80	1934,35	2268,86	2836,04
Nominale [kW]	29,80	46,40	69,60	92,80	114,84	150,80	208,80	266,80	348,00	464,00	580,00	754,00	928,00	1102,00	1569,77	1860,46	2325,58
Focolare [kcal/h]	29900	46000	68000	91000	118000	148000	205000	262000	341000	455000	569000	739000	909000	1E+06	1646340	1951220	2439000
Nominale [kcal/h]	25980	40000	60000	80000	99000	130000	180000	230000	300000	400000	500000	650000	800000	950000	1350000	1600000	2000000
Combustibile																	
Tipo	Cippato, segatura, pellet e tutti i combustibili triti di piccola e media pezzatura																
Capacità serbatoio [Lit/kg-Pellet]	570 / 370						740 / 480										
Idraulica																	
Mandata/Ritorno Impianto	DN 40					DN 65			DN 80			DN 100			DN 125		
Mandata/Ritorno Sanitario	DN 15					Non applicabile											
Pressione Nominale [bar]	3																
Contenuto Acqua [Lit]	115	115	152	195	235	500	650	525	980	1120	1315	1840	2220	2630	4450	4820	5600
Info																	
Optional	Produzione acqua calda sanitaria (solo per modelli fino a 99), Estrazione cenere, Rivestimento in refrattario, Turbolatori intrattenimento fumi, Accensione automatica, Multicicloni abbattimento polveri, Valvola scarico termico, Silos esterni per stoccaggio combustibili																
Potenza elettrica	A partire da 1440 W a 230 V 50 Hz, oppure 380 V 50 Hz					A partire da 1700 W a 230 V 50 Hz, oppure 380 V 50 Hz			A partire da 3500 W 380 V 50 Hz						A partire da 5000 W 380 V 50 Hz		
Consumo Combustibile Max [kg/h]**	6,8	10,8	16,0	21,0	26,8	34,3	47,6	60,8	79,1	105,6	132,0	171,4	210,9	250,6	386,9	453,8	567,2

Figura 40: Información técnica de caldera Pasqualicchio.

Fuente: Biomass, 2016.

Anexo 4:
Alternativas para renovar la caldera actual

4.1 Marco legal aplicado

Para la instalación y utilización de la caldera en el marco legal se debe aplicar el artículo número 10 aprobado por el ministerio de salud y la subsecretaría de salud pública (Biblioteca del congreso nacional de chile. BCN, 2015).

REGLAMENTO DE CALDERAS, AUTOCLAVES Y EQUIPOS QUE UTILIZAN VAPOR DE AGUA

Núm. 10.- Santiago, 2 de marzo de 2012.- Visto: Lo dispuesto en los artículos 1, 2, 3, 82 letra a) y en el Libro Décimo del DFL N° 725, de 1967, del Ministerio de Salud, que aprueba el Código Sanitario; en los artículos 65 y 68 de la ley N° 16.744 y en el artículo 4° del DFL N° 1, de 2005, del Ministerio de Salud y las facultades que me confiere el artículo 32 N° 6 de la Constitución Política de la República, y Considerando: La necesidad de poner al día la normativa, que regula el funcionamiento de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua, con el objeto de proteger la vida y la salud de quienes trabajan o se sirven de ellas y de la población en general.

Para el mantenimiento e instalación de la planta y redes de distribución de vapor se tiene como fundamento legal:

- Decreto Legislativo N° 584, "Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Salud".
- Decreto Supremo N° 002-92 SA, "Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud".
- Decreto Supremo N° 005-90 SA, "Reglamento General de Hospitales del Sector Salud".

Tabla 40: Factores de emisión en Chile para combustibles.

Combustible		kg CO₂/TJ	kg CO₂/m³	kg CO₂/ton	PCI kcal/kg	Densidad kg/m³
Gasolina para vehículos		69.3	2.241	3.07	10.583	730
Kerosene de aviación		71.5	2.554	3.153	10.536	810
Diésel		74.1	2.676	3.186	10.273	840
Petróleo combustible	Petróleo combustible N°5	77.4	2.899	3.127	9.652	927
	Petróleo combustible N°6	77.4	2.955	3.127	9.652	945
	Petróleo combustible IFO 180	77.4	2.927	3.127	9.652	936
Gas licuado de petróleo		63.1	1.642	2.985	11.3	550
Gas natural		56.1	1,97	-	8.407	-

Fuente: Elaboración propia en base a las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y al Balance Nacional de Energía 2009.

Anexo 5:
Análisis económico

5.1 Información sobre la tasa de descuento.

Período	TASA DE INTERÉS PROMEDIO DEL SISTEMA BANCARIO					
	(h: títulos con hipervínculos a gráficos respectivos)					
	OPERACIONES EN U.F.(h)			Expresadas (h)		
	Hasta 1 Año	Más de 1 Año		Moneda Extranjera		
	0-2.000 UF	>2.000UF		0-2.000 UF	>2.000UF	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4a)	(4b)
jul-15	1,99%	3,89%	3,31%		5,40%	2,62%
ago-15	1,62%	3,99%	3,48%		5,42%	2,23%
sep-15	1,84%	3,98%	3,46%		5,32%	2,59%
oct-15	2,40%	4,00%	3,44%		5,20%	2,19%
nov-15	3,32%	4,06%	3,75%		5,44%	2,24%
dic-15	3,65%	4,12%	3,88%		6,00%	3,05%
ene-16	3,03%	4,14%	3,72%		6,50%	2,94%
feb-16	2,33%	4,14%	3,82%		6,20%	2,92%

Definiciones de tramos de operaciones:			
(1)	Operaciones en moneda chilena reajutable (U.F.) de menos de un año.		
(2)	Operaciones en moneda chilena reajutable (U.F.) de más de un año. Hasta 2.000 U.F.		
(3)	Operaciones en moneda chilena reajutable (U.F.) de más de un año. Superiores a 2.000 U.F.		
(4)	Operaciones expresadas en moneda extranjera.		
(4a)	Operaciones expresadas en moneda extranjera, menores o iguales a UF 2.000		
(4b)	Operaciones expresadas en moneda extranjera, mayores a UF 2.000		

Figura 41: Tasa de interés promedio del sistema bancario.

Fuente: SBIF,2016.

5.2 Información sobre la vida útil.

E.- SECTOR ENERGÉTICO		
E.1) EMPRESAS ELÉCTRICAS		
1) Equipos de generación y eléctricos utilizados en la generación.	10	3
2) Obras civiles hidráulicas y otros relacionados con la generación.		
- Bocatomas, muros de presa.	50	16
- Descargas	30	10
- Túneles, piques, pretiles, evacuaciones, cámaras de carga, tuberías de presión.	20	6
- Canales	18	6
- Sifones, captaciones, estanques y chimeneas de equilibrio.	10	3
- Desarenador	8	2
3) Líneas de distribución de alta tensión y baja tensión, líneas de transmisión, cables de transmisión, cables de poder.	20	6
4) Líneas de alta tensión – Transporte.		
- Obras civiles.	20	6
- Conductores	20	6
- Apoyos de suspensión y apoyos de amarres.	10	3
5) Cables de alta tensión – Transporte.		
- Obras civiles.	20	6
- Conductores	20	6
6) Subestaciones – Transporte.		
- Obras civiles.	25	8
- Construcciones y casetas de entronque (estaciones de bombeo, reactancias compensación).	20	6
- Transformadores, celdas de transformadores, celdas de líneas, equipos auxiliares y equipos de telecomandos.	10	3
7) Líneas de alta tensión – Distribución.		
- Obras civiles.	20	6
- Conductores	20	6
- Apoyos de suspensión, apoyos de amarres y remodelación de líneas.	10	3
8) Cables de alta tensión – Distribución.		
- Obras civiles.	20	6
- Conductores	20	6
9) Líneas de media tensión – Aéreas.		
- Redes desnudas, redes aisladas, postes y otros.	20	6
- Equipos	12	4
10) Líneas de media tensión – Subterráneas.		
- Redes, cámaras, canalizaciones y otros.	20	6
- Equipos	12	4
11) Líneas de baja tensión – Aéreas.		
- Redes desnudas, redes aisladas, postes y otros.	20	6
- Equipos	12	4

figura 42: vida útil contable en Sistema de Impuestos Internos del sector energético

Fuente: SII,2016.

