

Evaluación de la Eficiencia Energética del Proceso de Generación de Vapor de la universidad Ciego de Ávila

Guillermo Antonio Cordero Bautista

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Marzo 9 de 2016**

Evaluación de la Eficiencia Energética del Proceso de Generación de Vapor de la universidad Ciego de Ávila

Autor:

Guillermo Antonio Cordero Bautista

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director:

MAITE M. VELASCO C.

**Magister en Ingeniería Mecánica, Mención Termofluidos
mmvch747@hotmail.com**

Tutor:

JOSE LUIS QUIÑONES CARABEO

**Magister en Eficiencia Energética, ingeniero electromecánico
rquinones@unica.cu**

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, Marzo 9 de 2016**

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios mis padres y a mi hijo, quienes me inspiran a luchar en la vida para lograr una meta cada vez mayor

AGRADECIMIENTOS

Agradezco por el desarrollo de este trabajo a mi padre Guillermo cordero Sandoval a mi madre Carmen Omaira bautista quienes estuvieron en mi formación desde que era un niño y quienes me apoyaron en todo momento para desarrollarme como ingeniero

Agradezco a los profesores que estuvieron en mi formación de ingeniero quienes me tuvieron paciencia y estuvieron presentes para colaborar me

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	10
2. Justificación.....	11
3. Objetivos	12
3.1 Objetivo General.....	12
3.2 Objetivos Específicos.....	12
4. Fundamentos Teóricos Y Estado Actual de los (G.V)	13
4.1 Desarrollo histórico del Generador de Vapor	13
4.2 Situación de la generación y distribución de vapor en el mundo.	17
4.3 Estado de la generación y distribución de vapor en Cuba	19
4.4 Descripción del sistema de generación y distribución de vapor.....	21
4.4.1 Sistema de alimentación y tratamiento del agua para la caldera.	22
4.4.2 Quemadores.	22
4.4.3 Hogar de la caldera.	22
4.4.4 Sistema de distribución del vapor.....	22
4.4.5 Sistema de retorno de condensados.....	22
4.5 Clasificación de los Generadores de Vapor.....	23
4.5.1 Generador de Vapor Pirotubular.	25
4.5.2 Generador de Vapor Acuotubular.....	26
4.6 Partes principales que componen un generador de vapor.....	27
4.6.1 Hogar o Fogón	27
4.6.2 Puerta Hogar	28
4.6.3 Emparrillado	28
4.6.4 Cenicero.....	29
4.6.5 Puerta del Cenicero.....	29
4.6.6 Altar.....	29
4.6.7 Mampostería	29
4.6.8 Conductos de Humo.....	30
4.6.9 Caja de Humo	30
4.6.10 Chimenea.....	30
4.6.11 Regulador de Tiro o Templador	30
4.6.12 Puertas de Explosión	30

4.6.13	Cámara de Agua.....	30
4.6.14	Cámara de Vapor.....	30
4.7	Rendimientos de la caldera	31
5.	Metodología Experimental.....	33
5.1	Diagnóstico del Generador de Vapor.....	33
5.1.1	Expediente del generador de vapor de la única	34
5.1.2	Tipo de Caldera.....	35
5.1.3	Ficha Técnica Tensión del Quemador.....	36
5.2	Norma ISO 50001: 2011	37
5.2.1	Gestión energética	38
5.2.2	Implementación norma ISO 50001 2011 en los (G.V).....	39
5.3	Procedimiento de inspección de la eficiencia energética en (G.V)	40
5.3.1	Condiciones de toma de medidas	41
5.3.2	Equipos de medida.....	42
5.3.3	Intervalos de los valores admisibles de emisión	43
5.3.4	Determinación del Rendimiento Energético	44
5.3.5	Mantenimiento.....	45
5.4	Metodología para la Toma de Medidas.....	45
5.4.1	Mediciones de Condiciones del Medio Ambiente.....	46
5.4.2	Análisis de Gases.....	46
5.4.3	Cantidad de Purga Continua	47
5.4.4	Características del Combustible.....	47
5.5	Cálculo de la Eficiencia Térmica del Generador de Vapor.....	48
5.5.1	Método de Pérdidas de Calor (Indirecto).....	48
5.5.2	Método de Entradas y Salidas. (Directo).....	49
5.6	Formulario para los Cálculos	51
5.6.1	Determinación del rendimiento por método directo	51
5.6.2	Determinación del Rendimiento por el Método Indirecto	52
5.7	Mathcad.....	54
6.	Resultados	55
6.1	Evaluación del Sistema de Vapor.	55
6.1.1	Información Previa	55
6.1.2	Condiciones de Operación	55

6.1.3	Preparación para la toma de datos.	55
6.1.4	Toma de Mediciones.	56
6.2	Calculo de Caudal Teórico.....	56
6.3	Eficiencia Térmica de Generador de Vapor CMS-C 1100 ALASTOR.....	57
6.3.1	Eficiencia térmica vs entalpía de vapor	58
6.3.2	Eficiencia térmica vs caudal de vapor	59
6.3.3	Eficiencia térmica vs caudal de fuel oil.....	59
6.3.4	Eficiencia térmica vs poder calorífico	60
6.4	Tablas de entalpía en función de la temperatura	60
6.4.1	Ajuste lineal de la entalpía a presión de 0, 1 MPa	60
6.4.2	Ajuste lineal de la entalpía a presión de 1 MPa	61
6.4.3	Ajuste lineal de la entalpía a presión de 10 MPa	62
6.4.4	Ajuste lineal de la entalpía a presión de 100 MPa	62
6.5	Entalpía vs temperatura	63
6.6	Eficiencia Del Generador para los Meses del año 2016	64
6.7	Calculo de la eficiencia real del generador de vapor	66
7.	Análisis y Discusión de Resultados	68
8.	Conclusiones.....	69
9.	Recomendaciones y Trabajos Futuros.....	70
10.	Bibliografía	71
11.	Anexos	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Optimización del funcionamiento de la caldera	32
Tabla 2: toma de mediciones (presión y temperatura).....	33
Tabla 3: ficha técnica de la caldera única	34
Tabla 4: Tensión del quemador. Fuente: (ALASTOR., 2007).....	36
Tabla 5: gestión de energía para el generador de vapor de la UNICA	40
Tabla 6: intervalo de valores admisibles de co2 y co para calderas alimentadas con gas natural o GLP. Fuente: ((ATECYR), febrero de 2007).....	43
Tabla 7: intervalo de valores admisibles de co2 y opacidad para calderas alimentadas con combustibles líquidos. Fuente: ((ATECYR), febrero de 2007)	43
Tabla 8: intervalo de valores admisibles de co2 y opacidad para calderas alimentadas con combustibles sólidos. Fuente: ((ATECYR), febrero de 2007).....	44
Tabla 9: valores de a y b para temperatura media del agua. Fuente: ((ATECYR), febrero de 2007).....	45
Tabla 10: Errores Probables de Medición y Resultantes en Cálculos de Eficiencia.....	50
Tabla 11: combustible que ingresa al generador por mes	56
Tabla 12: tabla de combustible quemado y vapor generado	57
Tabla 13: entalpia en función de temperatura a una presión de 01 MPa	61
Tabla 14: entalpia en función de temperatura a una presión de 1 MPa	61
Tabla 15: entalpia en función de temperatura a una presión de 10 MPa	62
Tabla 16: entalpia en función de temperatura a una presión de 100 MPa	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>ciclo simplificado del vapor</i> Fuente: (Marcano, 2008).....	14
Figura 2: sistema de generación y distribución de vapor Fuente: (CONAE, octubre 2002)	22
Figura 3: CALDERA CLEAVER-BROOKS, DE CUATRO PASOS, PIROTUBULAR Fuente: (Bahamondes, 2013).....	25
Figura 4: CALDERA ERIC CITY ACUOPIROTUBULAR Fuente: (Bahamondes, 2013)	26
Figura 5: partes principales de un generador de vapor Fuente: (CONAE C. N., mayo 2007)	27
Figura 6: grafica de presión vs temperatura Fuente: (Guillermo Cordero)	34
Figura 7: generador de vapor UNICA modelo CMS-C 1100 Fuente: (Guillermo Cordero)	35
Figura 8: quemador del generador de vapor UNICA Fuente: (Guillermo Cordero)	36
Figura 9: Modelo de Sistema de gestión de la energía ISO 50001: 2011. Fuente: ISO 50001: 2011.....	37
Figura 10: Esquema básico de gestión energética. Fuente: (SCADA, 2013).....	39
Figura 11: Toma de medida de temperatura del generador Fuente: (Guillermo Cordero)	47
Figura 12: Pedidas de calor por los evacuados para combustibles líquidos y gaseosos.	54
Figura 13: eficiencia termica vs entalpia Fuente: (Guillermo Cordero).....	58
Figura 14: eficiencia termica vs caudal de vapor Fuente: (Guillermo Cordero)	59
Figura 15: eficiencia termica vs fuel oil Fuente: (Guillermo Cordero)	59
Figura 16: eficiencia termica vs poder calorifico Fuente: (Guillermo Cordero).....	60
Figura 17: Entalpia del agua en fursion de la temperatura Fuente: (Guillermo Cordero) .	63
Figura 18: Eficiencia Termica de la Caldera vs Presion Fuente: (Guillermo Cordero).....	67

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en todo el mundo se trabaja en buscar formas que nos permitan el ahorro y uso eficiente de la energía. La eficiencia energética (EE) es una herramienta que ayuda a reducir el consumo energético de los sistemas eléctricos y térmicos, y a su vez busca optimizar el desempeño de los mismos, evaluando sus parámetros de funcionamiento, sus consumos energéticos, la variación de la carga durante el periodo de trabajo, sus rendimientos, entre otros parámetros, siendo los generadores de vapor uno de los equipos de amplia importancia, ya que se puede hablar de su funcionamiento tanto en plantas generadoras de energía eléctrica, como en plantas industriales. Su uso representa un gran consumo de combustible, de tal manera que el hecho de lograr una mejor eficiencia de los mismos es de vital importancia. (UCATEE M. , 2012)

El análisis del consumo y la demanda de todos los portadores energéticos han comenzado a ser una tarea de prioridad en los diferentes sectores de la economía. Actualmente en el mundo se consumen 8.000 millones de toneladas de petróleo u otros combustibles fósiles al año y se espera que para el año 2020 el consumo alcance los 14 000 millones de toneladas anuales. El efecto de la quema masiva de combustibles fósiles y su concentración en el aire, habrá duplicado en el año 2030 los valores medios del siglo XIX, que se situaban en 270 ppm, lo que provocará el aumento en 2 °C de la temperatura de la superficie terrestre así como una subida de unos 4 cm del nivel del mar lo que contribuye al aumento de la cantidad de dióxido de carbono. (Ruiz, Para medir y Opinar, Abr. Jun 2002)

En este trabajo se busca evaluar la eficiencia energética del proceso de generación de vapor presente en la Universidad de Ciego Ávila, con el fin de poder aprovechar su máxima eficiencia y al mismo tiempo poder lograr implementar las normas internacionales para mejorar el desempeño energético de los mismos. Sabemos que el objetivo principal de la generación de vapor es producir vapor a una presión mayor a la atmosférica, es la manera de aprovechar la energía que posee en tales condiciones y cubrir las necesidades en la industria.

La importancia de conocer la eficiencia térmica con que operan los generadores de vapor, también denominados calderas, radica en evaluar el grado de aprovechamiento de la energía del combustible para producir vapor. Además, se pueden cuantificar las cantidades de calor que ingresan y egresan de una caldera (Marcos A. Golato*, jul./dic. 2008), El vapor de agua es uno de los medios de transmisión de calor de mayor efectividad, y su fácil generación y manejo lo han situado como uno de los servicios auxiliares más difundidos en la industria. En los diagnósticos energéticos, se han encontrado grandes potenciales de ahorro en la generación y distribución de vapor, que van desde 5 hasta 20% del consumo de combustible. (AVELLA, 2012)

2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, en varios países han sido adoptadas diferentes medidas y acciones hacia el crecimiento de la eficiencia energética y la reducción de pérdidas, donde se evidencia un especial énfasis hacia las etapas de uso final.

Para lograr la eficiencia energética en una empresa u organización no basta con que exista un plan de ahorro de energía derivado de un estudio o diagnóstico. Se debe contar con un sistema de gestión que garantice la mejora continua (Consultoría en eficiencia energética, 2012), deben existir procedimientos continuos de evaluación y monitoreo de resultados mediante el uso de indicadores de gestión y el establecimiento de metas (Lawrece, Boudreau, Perry, & Ding, 2012).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, un factor relevante en la promoción y posterior éxito de las medidas de fomento a la eficiencia energética, es la adecuada consideración de los contextos de consumo de energía, que presupone levantamientos de los usos, tecnologías y hábitos energéticos, mediante un planteamiento consistente, previo a la implementación de los programas

La energía en la actualidad es un tema de importancia debido a la aprobación por la International Standard Organización (ISO) en junio 2011, de la norma ISO 50001:2011-“Gestión de la Energía”, norma adoptada por Cuba en enero 2012. Cabe destacar que uno de los temas de importancia definidos por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medioambiente (CITMA) es la reducción de contaminantes y la eficiencia energética.

En Cuba se han diseñado para gestionar la eficiencia energética dentro de las organizaciones, la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGEE) y el procedimiento para la mejora de los procesos que intervienen en el consumo de combustibles. Ambos respetan el ciclo de mejora continua Planear – Hacer – Verificar - Actuar, con técnicas y herramientas coincidentes, sin embargo la TGEE ha sido más aplicada en el país, pero carece de la planificación energética en concordancia con la NC-ISO 50001:2011, la cual está relacionada con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los costos y consumos de la energía y de otros impactos ambientales relacionados (Organización Internacional de Normalización , ISO 2011), por lo cual se propone la utilización del procedimiento para la planificación energética.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar la eficiencia energética para el proceso de generación de vapor en la universidad de ciego de Ávila

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el estado del arte de los sistemas de generación y distribución de vapor.
- Diagnosticar la situación energética del generador de vapor de la UNICA.
- Implementar la Norma Internacional 50001: 2011; para mejorar el desempeño energético de la caldera.
- Formular una metodología eficiente y práctica para las mediciones de los diferentes equipos que forman el generador de vapor.
- Calcular el índice de intensidad energética para medir la eficiencia térmica de la planta.
- Utilizar el software Mathcad14.0 para el desarrollo de los cálculos que determinan la eficiencia del generador.
- Conocer la importancia que tiene la eficiencia térmica con la que opera un generador de vapor.

4. FUNDAMENTOS TEORICOS Y ESTADO ACTUAL DE LOS (G.V)

4.1 DESARROLLO HISTÓRICO DEL GENERADOR DE VAPOR

Pocas tecnologías han aportado tanto al desarrollo de la humanidad como la combustión, generación y utilización del vapor. El vapor es un gas producido por la evaporación de un líquido y a veces posee gotas de agua que se evaporan a 100°C.

Los antecedentes de su uso se remontan a épocas distantes. Constituyó la chispa de la Revolución Industrial que se inició a partir del desarrollo acelerado de la industria moderna de los procesos industriales, que tuvo su origen fundamentalmente en Inglaterra (Betancourt., 1996)

La primera mención de la idea de utilizar vapor para obtener energía proviene del siglo 1^o, el inventor y matemático griego Herón describe una turbina de vapor que consistía en una caldera conectada entre dos tubos a los polos de una esfera hueca que podía girar libremente. La esfera estaba equipada con dos boquillas biseladas por donde salía vapor que producía la rotación. (calderas, 2006)

Hay literaturas que plantean que en 1540 el español Blanco de Garay presentó al emperador Carlos V una máquina de vapor, pero aplicada a la navegación. Más tarde Francia lo repite. Dionisio de Papín, también francés imaginó la primera máquina de embolo y más tarde dicha inventiva fue llevada a la perfección por el inglés James Watt, al que finalmente se le atribuyó la invención (Fong., 2015)

La primera máquina de vapor, construida por el ingeniero inglés Thomas Savery en 1698, consistía en dos recipientes de cobre que se llenaban alternativamente del vapor de una caldera. La máquina de Savery se utilizaba para extraer agua de las minas, como la desarrollada en 1705 por el inventor británico Thomas Newcomen

Los primeros tipos de calderas usadas para la producción de vapor a mediados del siglo XVIII eran unos recipientes metálicos, llenos parcialmente de agua y calentados exteriormente. El recipiente era cilíndrico, que es la forma geométrica que mejor soporta la presión.

El inventor inglés James Watt mejoró la máquina de Newcomen e introdujo el primer avance significativo de la caldera, el recipiente esférico o cilíndrico que se calentaba por debajo con una hoguera. (Betancourt., 1996)

La caldera de Watt, construida en 1785, consistía en un armazón horizontal cubierto de ladrillo con conductos para dirigir los gases calientes de la combustión sobre la caldera. Watt, uno de los primeros ingenieros que aprovechó las propiedades termodinámicas del vapor de agua, utilizó la válvula de seguridad de palanca, manómetros para medir la presión y grifos para controlar el flujo de agua y vapor en sus calderas.

El empeño de obtener mayor superficie de transferencia y más alta eficiencia en la transferencia de calor condujo a crear otros tipos de calderas. En este sentido, se trabajó en dos direcciones que resultaron ser las más perspectivas y determinaron el desarrollo de las calderas de vapor por más de 150 años. (Fong., 2015)

En la primera, la combustión se confinaba a conductos tubulares que a su vez se introducían en el volumen de agua del cilindro o domo principal.

Las máquinas de Savery, Watt y Newcomen trabajaban a presiones sólo un poco superiores a una atmósfera. En 1800 el inventor estadounidense Oliver Evans construyó una máquina de vapor a alta presión utilizando una precursora de la caldera semitubular.

La caldera de Evans consistía en dos armazones cilíndricos, colocados uno dentro del otro, con agua entre ambos. La parrilla y los conductos estaban alojados en el cilindro interior para permitir un rápido aumento de la presión del vapor. De forma simultánea pero independiente el ingeniero británico Richard Trevithick desarrolló una caldera similar que se utilizó en Cornualles (Betancourt., 1996).

La primera mejora sustancial de las calderas de Evans y Trevithick fue la caldera Lancashire, patentada en 1845 por el ingeniero británico William Fairbairn, en la cual los gases calientes de la combustión se conducen a través de tubos insertados en el contenedor de agua, lo que aumenta la superficie por la que el calor puede ser transmitido. Las calderas semitubulares tenían limitaciones de capacidad y presión, además de reventar en ocasiones. (Fong., 2015)

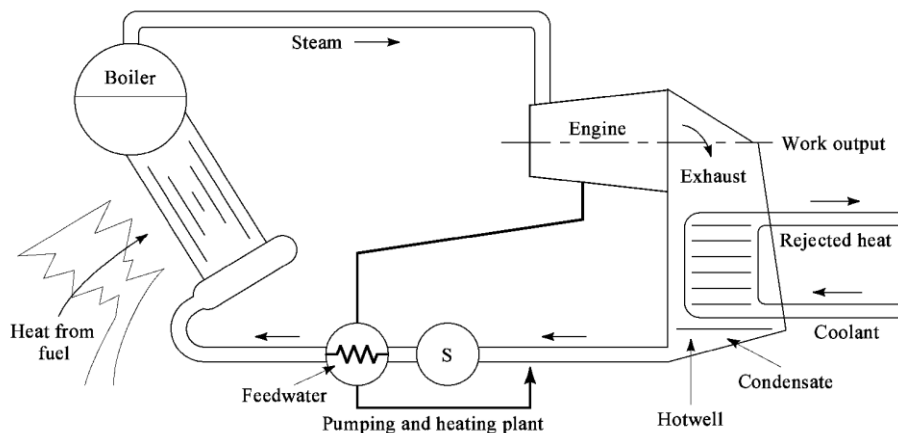


Figura 1. ciclo simplificado del vapor Fuente: (Marcano, 2008)

A estas calderas se les llamó de “tubos de fuego”. Sin embargo, con estas calderas no pudo obtenerse una capacidad evaporativa alta pues para ello se requería que el diámetro del domo o cilindro principal fuese cada vez mayor y debido a que el esfuerzo de tensión en la pared del domo es una función de su diámetro y de la presión, entonces las calderas tenían que construirse con

espesores cada vez mayores y esto provocaba dificultades insalvables a la hora de realizar la junta remachada. (Ejemplo: tamaños límites fueron de cerca de 3 m de diámetro y 6 de longitud con presiones de hasta 9 atm).

La presión en las calderas, sin embargo, permaneció limitada hasta el primer diseño viable de la caldera tubular, patentada en 1867 por los inventores estadounidenses George Herman Babcock y Stephen Wilcox. En la caldera tubular el agua recorría unos tubos calentados por gases de la combustión y el vapor se acumulaba en un tambor. El calor se transmitía por radiación y convección, pasando al agua y evaporándose parcialmente de manera que la descarga de los tubos estaba constituida por una mezcla de agua y vapor saturados. Esta disposición aprovechaba el calor de convección de los gases y el calor radiante del fuego y las paredes de la caldera.

La amplia aplicación de la caldera tubular se hizo posible en el siglo XX con adelantos como las aleaciones de acero de alta temperatura y las técnicas modernas de soldadura, que convirtieron la caldera tubular en el modelo de las grandes calderas (Betancourt., 1996)

A mediados del siglo XIX se introdujo la superficie de transferencia que recibió el nombre de “economizador” para aprovechar aún más la energía sensible de los gases calentando el agua de alimentación de la caldera antes de su introducción en el domo y disminuyendo las temperaturas límites inferiores de los gases de salida hasta la temperatura del agua de alimentación.

También a mediados del siglo XIX (1860) se comienza a utilizar el sobre calentador. Por esa época el suministro del combustible (sólido) al horno se hacía a mano.

Sin embargo ya a finales del siglo XIX se comenzó a mecanizar el sistema de admisión de combustible a través de parrillas de estera o viajeras y ya en los umbrales del siglo XX los generadores de vapor contaban con un horno mecanizado, la superficie evaporativa (la caldera propiamente dicha), el sobre calentador y el economizador de agua. Por este tiempo el suministro de vapor se limitaba a máquinas de vapor en factorías o fábricas, de ahí que la capacidad de las calderas estaba limitada a la potencia requerida de las máquinas. (Fong., 2015)

Esta situación cambió bruscamente cuando comenzó a utilizarse la energía eléctrica, en la década en que se construyen las primeras estaciones eléctricas (1882-1900). Ya en 1900 fue construida en Estados Unidos la primera estación central potente con máquinas de vapor de 3000 kW cada una, totalizando la central 50 000 kW con un consumo de 600 T de vapor por hora

La situación se agrava cuando en los años siguientes la voluminosa máquina de vapor de pistón fue sustituida por la rápida y pequeña turbina de vapor cuyas potencias crecieron tanto que en el año 1909 eran de 1 500 kW y ya en el 1916 de 50 000 kW, lo cual demandó de las calderas aumentos rápidos de capacidad.

La crisis en combustible posterior a la Primera guerra Mundial provocó la utilización del carbón pulverizado lo cual dio como resultado el aumento de la potencia del horno.

Esto trajo aparejado problemas con las paredes refractarias que en esa época eran de muy mala calidad y con la ceniza del carbón que era arrastrado por los gases de la combustión, de manera que al pegarse a los tubos formaban costras de escoria que hacían necesaria constantes paradas para la limpieza y mantenimiento.

Estos problemas fueron superados con las llamadas “paredes de agua”, es decir la superficie evaporativa de la caldera se desplaza hacia el horno cubriendo sus paredes parcial o totalmente con una fila de tubos a lo largo de todo su perímetro.

Ya a mediados de la década del 20 del pasado siglo, los generadores de vapor se construían con hornos cubiertos por paredes de agua (parcial o totalmente), superficies evaporativas convectivas, sobre calentadores dispuestos después de las superficies convectivas, economizadores y calentadores de aire con capacidades entre 150 y 200 T/h de vapor.

A partir de 1930 se empezaron a utilizar los filtros de intercambio iónico con los que se obtenían calidades superiores del agua, lo cual trajo la posibilidad de sustituir el “economizador” de hierro fundido por tubos de acero que permitía al ser menos frágiles, mayores transferencia de calor.

Por último, el desarrollo progresivo de la metalurgia logró aceros más resistentes, lo que permitió desplazar los sobre calentadores de la zona radiante.

Las calderas de tubos de agua verticales y varios domos de aquel tiempo resultaban muy costosas debido al alto precio de los domos totalmente forjados; y las calderas de tubos horizontales presentaban dificultades en su hermeticidad y en la propia circulación.

Todo lo anterior condujo al estudio de nuevos esquemas y concepciones. Como resultado surgieron dos nuevos tipos: calderas de circulación forzada (1930 a 1945) y calderas de circulación continua que resultaron ser más ventajosas para presiones críticas. En la actualidad es el tipo de Generador más difundido para la generación de potencia.

Las modernas calderas tubulares pueden operar a presiones de 34.45 MPa y generar más de 4.000 Toneladas de vapor por hora. Dado que la temperatura de combustión puede superar los 1.650 °C, el flujo de agua se controla mediante circulación simple o forzada.

Con la utilización de los llamados súper calentadores, las calderas modernas pueden alcanzar un 90% de rendimiento del combustible. Los precalentadores calientan el aire que entra con los gases de la combustión que se descargan al conjunto; los precalentadores de agua utilizan los gases de los conductos para calentar el agua antes de introducirla en la caldera. (Fong., 2015)

4.2 SITUACIÓN DE LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN EL MUNDO.

Las Calderas o Generadores de vapor es un elemento esencial en el funcionamiento de la mayoría de las instalaciones industriales y de servicios.

Elas producen el vapor que entrega la energía que demandan los procesos de calentamiento y la producción de potencia mecánica. El nombre de Generador de Vapor es mucho más reciente que estos equipos y ha sustituido al de Caldera, como se conocían inicialmente.

Los Generadores de vapor son instalaciones transformadoras de energía, donde se libera la energía contenida en los combustibles, mediante el proceso de combustión la que en su mayor parte se transfiere al agua, convirtiendo a esta en vapor con la calidad y los parámetros que fija el consumidor.

Los generadores de vapor modernos se fabrican en una amplia gama de tipos y capacidades; los hay desde pequeñas unidades con producciones de 0,1 T/h y presiones menores que 106 Pa, hasta gigantescas instalaciones de 4 000 T /h de producción y presiones del orden de los 2.6×10^7 Pa .En cuanto a la temperatura van desde simples unidades de vapor saturado, hasta generadores de vapor sobrecalentado a 570 °C. Dada la diversidad de tipos, amplia gama de capacidades, y complejidad técnica, es que para su correcta explotación se requiere un estudio profundo de su funcionamiento, de los métodos de cálculo y de los procesos que tienen lugar en ellos.

El generador de vapor moderno es un equipo de gran complejidad. Es un intercambiador de calor altamente especializado, en el cual se transfiere al agua, el calor desprendido por el combustible, para formar el vapor. Los componen diversos equipos con diferentes funciones, pero todos contribuyen a garantizar su funcionamiento y aumentar su eficiencia térmica. (Fong., 2015)

El incremento de la eficiencia en el generador de vapor es una necesidad de los procesos energéticos, pues los mismos en la actualidad presentan valores muy bajos, basta decir que de la energía del combustible al degradarse y una parte perderse por ineficiencia en los generadores de vapor, las turbinas, los generadores eléctricos, las líneas de transmisión, los transformadores, los motores eléctricos y los equipos mecánicos, el hombre sólo puede convertir en trabajo útil entre un 12% y un 30 %, lo que significa que la mayor parte de ella se pierde. (Díaz, 2002)

En las industrias de proceso, a pesar de tener generadores de vapor de menor eficiencia, la utilización de la energía es más efectiva en comparación con las centrales termoeléctricas, pues el vapor después de realizar trabajo y perder calidad su energía, se utiliza en el proceso industrial continuando la entrega de energía.

Los sistemas de vapor tienen hoy en día un uso muy extenso en aplicaciones diversas, tales como generación de energía mecánica y eléctrica, como agente calefactor en servicios comerciales e industriales y como materia prima en determinados procesos entre otros.

Los parámetros que caracterizan los generadores de vapor y que constituyen sus datos de chapa, son aquellos que definen el estado y la cantidad en que se entrega el vapor, debiendo aparecer siempre en el pasaporte de cada equipo. Dado que el objetivo del generador es la producción de vapor para cubrir una determinada demanda, estos datos son:

D - Producción de vapor (T/h);

P - Presión de vapor (Pa).

T - Temperatura del vapor (°C)

Generalmente, los fabricantes especifican cuatro valores de producción; esto se hace con el objetivo de facilitar la operación del equipo y aumentar la seguridad de su trabajo. Estos valores de producción son:

D_n - Producción de vapor a máxima eficiencia.

D_{nom} - Producción nominal de vapor, a la que se recomienda la operación continua del equipo.

D_{max} - Producción de vapor máxima permisible, a la que se puede operar el equipo solo durante breves periodos de tiempo.

D_{min} - Producción de vapor mínima permisible, por debajo de este valor no debe operarse para garantizar una correcta circulación del agua (solo para generadores de vapor de circulación natural).

En el campo tecnológico del diseño mecánico de los Generadores que se está tratando, no cabe mencionar avances que puedan considerarse importantes. Es un equipo sobradamente experimentado en sus aspectos esenciales, como son:

- Materiales
- Circulación interna de fluidos
- Equipamientos auxiliares

Donde hay sensibles diferencias en el producto final, es en la calidad de la ejecución, cuya banda de aplicación varía sensiblemente entre cubrir estrictamente los mínimos exigidos por las normas y reglamentos, o marcarse como objetivo la fabricación de un producto que esté bien construido, sea fiable y, por añadidura, duradero.

Actualmente el diseño se ha basado en el fin de cumplir las normativas más exigentes en cuanto a la disminución de la contaminación ambiental y ahorro energético, manteniendo la misma robustez y fiabilidad en la explotación, siendo entre otras las siguientes mejoras:

- Tubo hogar liso y ondulado según tamaño, de grandes dimensiones para optimizar la combustión y mantener bajos los niveles de contaminación.
- Óptima distribución y dimensión de tubos en los pasos de gases con el fin de obtener una perfecta circulación de agua en el interior de la caldera.
- Mayor volumen de cámara de vapor para obtener vapor de alto título.
- Cámara de reversión de gases trasera totalmente refrigerada por agua, requisito básico para una larga vida de funcionamiento y mínimos gastos de mantenimiento.
- Variabilidad en el uso de combustible líquido o gaseoso.

Un Generador de Vapor construido con estas últimas premisas podrá mantenerse en servicio fácilmente más de 25 años. Otra, diseñada con los anteriores mínimos de calidad, durará escasamente ocho o diez años, a costa de un mantenimiento penoso para el usuario y un sin fin de averías continuas.

También en desarrollo es la co-generación, que es el uso más popular de Generadores de Recuperación de Gases de Combustión. Estos sistemas están operando en todo el mundo con los más finos motores reciprocantes, quemando gas natural, diesel y combustible pesado. (Fong., 2015)

El calor recuperado puede usarse sólo para el motor, como es el caso de motores de combustible pesado, o pueden utilizarse para el proceso o producción de la fábrica. El calor de recuperación puede ser tan bajo como 250°C o tan alto como 1,200°C.

El diseño de circulación controlada, a contraflujo de los gases de combustión, ofrece importantes ventajas permitiendo un diseño compacto del generador, fácil de limpiar y puede operar en seco hasta 450°C. Cada sección contiene de cuatro a seis "pancakes" arrollados en forma espiral. Las secciones están colocadas entre los conos de entrada y salida para asegurar un flujo eficiente de los gases, transferencia de calor, y producción de vapor o agua caliente. (Fong., 2015)

4.3 ESTADO DE LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN CUBA

En Cuba a partir del desarrollo industrial que experimentó durante el siglo XX el empleo de los generadores de Vapor se localizaba en los primeros años fundamentalmente en la industria azucarera, siendo utilizado tanto para el proceso de obtención de azúcar como para mover la maquinaria de los Centrales, con tecnología proveniente de Estados Unidos. (Barón, 2004)

El bagazo constituye actualmente la principal fuente de energía en la producción de azúcar. Este proceso se basa en la cocción y posterior concentración del jugo extraído a la caña durante su molido. Se consumen 0.5 T de vapor y 21 kW.h por tonelada de caña molida.

Hasta 1959 el empleo de la energía basada en la quema de combustible fósil, era empleada en pocas industrias concentradas en el occidente del país y sobre todo

en la capital consistente en la refinación de petróleo, pequeña capacidad de cogeneración de electricidad y otras pequeñas industrias de manufactura y procesamiento de alimentos provenientes de la agricultura. (autores, 2005)

Desde 1959 y hasta 1989, período durante el cual tuvo lugar un desarrollo creciente basado en suministros estables de combustibles y tecnologías provenientes de los países del antiguo campo Socialista de Europa del Este y de la extinta URSS. Este período se caracterizó por la modernización de los generadores instalados, la introducción de nuevos y la construcción acelerada de centrales termoeléctricas, con la utilización de generadores de tubos de agua capaces de entregar un mayor volumen de vapor a base de petróleo importado elevando la capacidad de generación de electricidad, asegurando el suministro de energía eléctrica al 95 % de la población. Además en esta etapa se incrementa la capacidad de refinación y el aumento de la cogeneración en la industria azucarera.

Desde 1992 el país atraviesa por un período crítico, donde su desarrollo estaba basado en una estructura económica – productiva excesivamente dependiente de las importaciones de petróleo, con esquemas caracterizados por indicadores de eficiencia relativamente inferiores a sus similares internacionales y con una elevada intensidad energética, se ve sometido a la súbita pérdida de los suministros de petróleo que venía recibiendo establemente y a precios preferenciales.

A este cuadro debe añadirse el recrudecimiento del bloqueo económico que el país ha venido enfrentando durante cinco décadas. Esta situación provocó un intenso déficit de energía que impactó fuertemente en todas las esferas productivas del país y la generación de vapor no ha estado exenta de la misma.

Todo lo anterior deprimió la capacidad productiva del país y el deterioro de los equipos.

La situación expresada anteriormente ha conllevado a una redefinición de la Política Energética Nacional.

En el sentido legal, la máxima expresión de dicha redefinición viene dada por la aprobación del Consejo de Ministros de 1993 y el posterior examen en la Asamblea nacional del Poder popular del titulado *Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía* (PDFNE). (Fong., 2015)

Este programa, propone una utilización intensiva de las fuentes autóctonas de energía, tanto renovable como no renovable, al igual que la promoción de una política no menos intensiva de eficiencia energética, persiguiendo disminuir la dependencia exterior de combustible fósil y conseguir una mejora sustancial de las condiciones ambientales alrededor de la generación de energía en Cuba.

4.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE GENERACION Y DISTRIBUCION DE VAPOR

La eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía, necesaria para garantizar calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones. (A, 2012)

Los sistemas térmicos son equipos cuya función es la generación de calor a través de la combustión de un combustible con el oxígeno del aire. Se utilizan para cubrir necesidades térmicas de calefacción y agua caliente y de procesos productivos tales como el tratamiento térmico de metales, el calentamiento y el secado de sustancias en diferentes sectores industriales como el químico, textil, agroindustrial, construcción, metal-mecánica, etc. Los equipos térmicos más representativos son calderas o generadores de vapor

Considerando que, entre el 40 y 60% de toda la energía empleada por algunas industrias, es consumida para la generación de vapor, la operación eficiente del sistema y su mantenimiento adecuado pueden representar una gran oportunidad para disminuir sus insumos energéticos y, por ende, sus costos de operación (CONAE, octubre 2002)

Existen reglas que, en general, deben seguirse para generar vapor con eficiencia:

- Operar la caldera a condiciones normales o máximas (según la carga demandada por el proceso), las cuales alcancen la mayor eficiencia especificada. Los grados de sobrecalentamiento del vapor deberán ser los establecidos desde diseño; de lo contrario, afectarán el área de transferencia de calor en el equipo de proceso.
- Cuando se requiera utilizar vapor en turbinas, ya sea para la generación de energía eléctrica o para movimiento rotatorio, es necesario suministrarlo a su máxima potencia, tomando en cuenta algunos otros niveles que se necesiten en instalaciones de proceso; esto, con la finalidad de que se puedan realizar las extracciones correspondientes de la turbina. Dicha acción permitirá no utilizar válvulas reductoras de presión, lo que origina se eleve la eficiencia del ciclo.

La figura muestra un sistema de generación y distribución de vapor, cuyas partes principales se describen a continuación

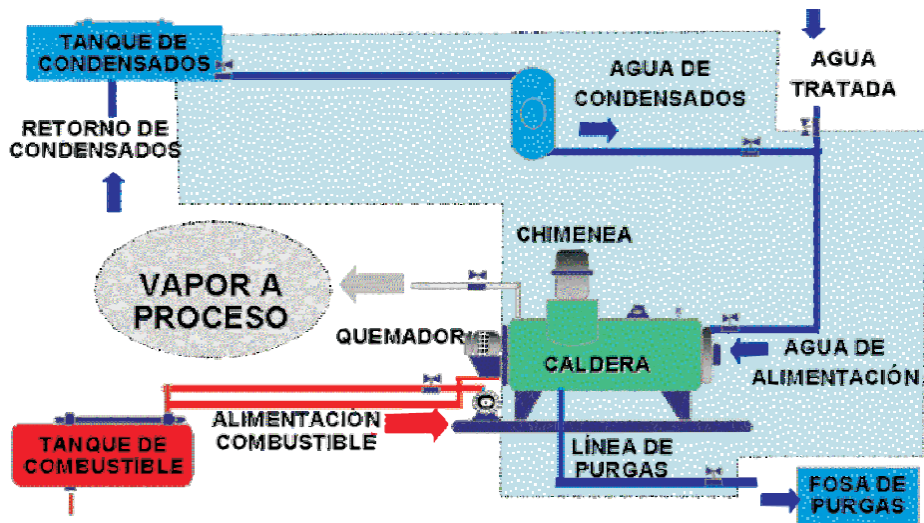


Figura 2: sistema de generación y distribución de vapor Fuente: (CONAE, octubre 2002)

4.4.1 Sistema de alimentación y tratamiento del agua para la caldera.

Conformado por equipo, tubería y accesorios que permiten el suministro del agua bajo condiciones adecuadas al sistema de vapor.

4.4.2 Quemadores.

Dispositivos de la caldera, donde se lleva a cabo la reacción química del aire con el combustible fósil, para transformarse en calor, mismo que posteriormente servirá para cambiar las propiedades del agua líquida a vapor.

4.4.3 Hogar de la caldera.

En el caso de las calderas tipo "tubos de agua", el hogar está formado por paredes hechas con "bancos de tubos"; en calderas tipo "tubos de humo", el hogar está formado por una envolvente metálica interna. En ambos casos, es en el hogar donde se inicia la transformación del agua en estado de saturación a vapor y donde se termina de realizar el proceso de combustión iniciado en el quemador, liberando el calor del combustible.

4.4.4 Sistema de distribución del vapor.

Serie de tubos denominados "cabezales y ramales de vapor", que permite llevar el vapor a los puntos donde el proceso lo requiere, con la calidad y en la cantidad demandada.

4.4.5 Sistema de retorno de condensados.

Serie de tubos denominados "cabezales y ramales de condensado", que regresan parte del agua que se ha condensado en el proceso. Esta agua, de gran valor por su pureza, se retorna al sistema de generación de vapor con un previo tratamiento. Es muy recomendable la instalación de este sistema, ya que permite recuperar la mayor cantidad posible de condensados. (CONAE, octubre 2002)

4.5 CLASIFICACIÓN DE LOS GENERADORES DE VAPOR

Las calderas se pueden clasificar en función de múltiples criterios. Según el tipo de combustión, las calderas pueden ser de cámara de combustión abierta (atmosférica o tiro natural) o cerrada (presurizado o tiro forzado). Estas últimas presentan multitud de ventajas sobre las atmosféricas como el mejor rendimiento, la estabilidad de la combustión o el mínimo exceso de aire necesario. (UCATEE, 2012)

Las calderas o generadores de vapor se clasifican en pirotubulares y acuotubulares. Las pirotubulares son aquellas en las que los humos de la combustión circulan por el interior de los tubos y el agua, por el exterior. En general, se trata de calderas pequeñas con presiones inferiores a 20 bares. Las acuotubulares son aquellas en las que el agua circula por el interior de los tubos, son las más comunes.

Aparte de estos criterios de clasificación, existen otros que hacen innumerables los tipos de calderas actualmente existentes. Por ejemplo: Según el combustible utilizado: calderas de gas, de gasóleo o de carbón. Según el medio de transporte de calor: calderas de fluido térmico (FT), de agua caliente, de agua sobrecalentada (ASC), de vapor saturado o de vapor sobrecalentado. Según la presión de trabajo: pueden ser: Subcríticas: de baja presión ($p \leq 20$ bar), de media presión ($20 \leq p \leq 64$ bar); de alta presión ($p \geq 64$ bar) o Supercríticas: $p > 221$ bar. Según su posición, pueden ser de pie o murales. Según la recuperación entálpica de los humos, existen calderas con o sin recuperación entálpica. (CARRASCAL, 2013)

La clasificación general de las calderas, de acuerdo al mayor uso en nuestro

País, sería la siguiente:

Atendiendo a su posición:

- a) Horizontales
- b) Verticales

Atendiendo a su instalación:

- a) Fija o estacionaria
- b) Móviles o portátiles

Atendiendo a la ubicación del hogar:

- a) De hogar interior
- b) De hogar exterior

Atendiendo a la circulación de los gases:

- a) Recorrido en un sentido (de un paso)
- b) Con retorno simple (de dos pasos)

- c) Con retorno doble (de tres pasos)

Con respecto a su forma de calefacción:

- a) Cilíndrica sencilla de hogar exterior
- b) Con un tubo hogar (liso o corrugado)
- c) Con dos tubos hogares (liso o corrugado)
- d) Con tubo Galloway (calderas horizontales o verticales)
- e) Con tubos múltiples de humo (igneotubulares o pirotubulares)
- f) Con tubos múltiples de agua (hidrotubulares o acuotubulares)
- g) Con tubos múltiples de agua y tubos múltiples de humo (acuopiro-tubular o mixtas)

De acuerdo a la presión del vapor que producen:

- a) De baja presión (hasta 2,0 kg/cm²)
- b) De mediana presión (sobre 2,0 kg/cm² hasta 10 kg/cm²)
- c) De alta presión (sobre 10 kg/cm² hasta 225 kg/cm²)
- d) Supercríticas (sobre 225 kg/cm²)

Con respecto al volumen de agua que contienen en relación con su superficie de calefacción:

- a) De gran volumen de agua (más de 150 Ltrs. x m² de superficie de calefacción SC)
- b) De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 Ltrs. x m² de SC)
- c) De pequeño volumen de agua (menos de 70 Ltrs. x m² de SC)

Según su utilización:

- a) De vapor
- b) De agua caliente

Según la circulación del agua dentro de la caldera:

- a) Circulación natural: El agua circula por efecto térmico
- b) Circulación forzada: El agua se hace circular mediante bombas.

Según el tipo de combustible:

- a) De combustible sólido
- b) De combustible líquido
- c) De combustible gaseoso

Además existen calderas que obtienen el calor necesario de otras fuentes de calor, tales como gases calientes de desperdicios de otras reacciones químicas, de la aplicación de la energía eléctrica o del empleo de la energía nuclear. (Bahamondes, 2013)

4.5.1 Generador de Vapor Pirotubular.

Los gases pasan por el interior de tubos sumergidos en el interior de una masa de agua, todo ello rodeado por un cuerpo o carcasa exterior. Los gases al atravesar los tubos ceden su calor sensible al agua que los rodea produciéndose la vaporización en las proximidades de los tubos. Los gases puede recorrer varias veces la longitud de la caldera. El diseño está limitado por la presión del vapor, ya que las presiones superiores a 25 bares obligarían a usar fuertes espesores de virola. La producción de vapor alcanza como máximo 35 t/h. (ALONSO, 1996.)

Características:

- Presiones hasta 150 LPPCM
- Generación de vapor hasta 150 KLb/h (68 Ton/h)
- Generación de vapor saturado
- Pequeñas dimensiones
- Carcasa cilíndrica

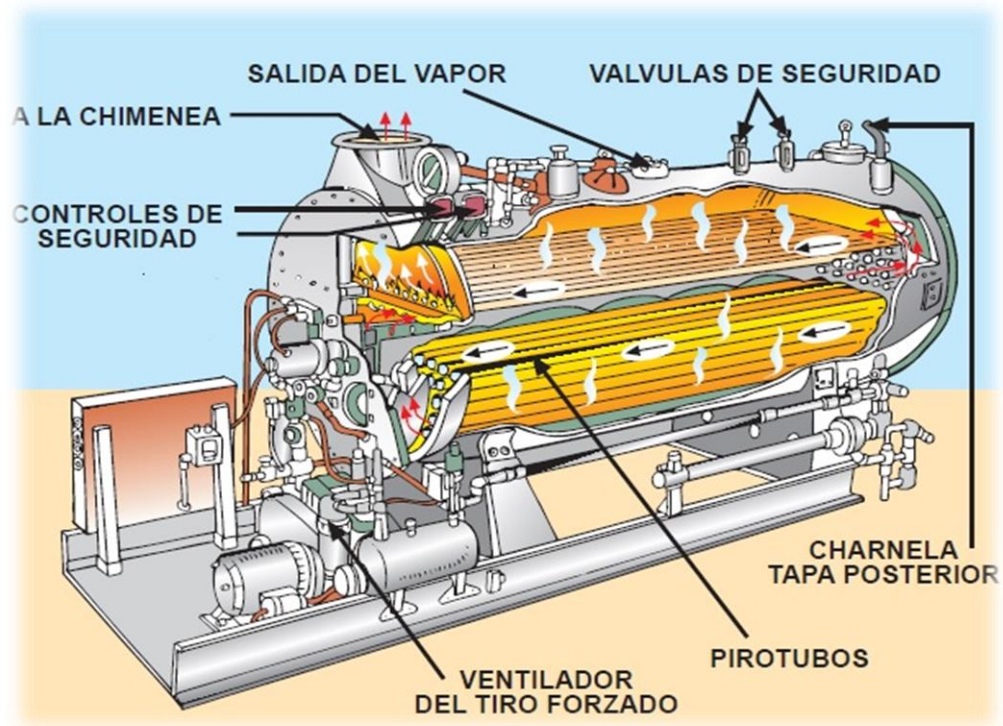


Figura 3: CALDERA CLEAVER-BROOKS, DE CUATRO PASOS, PIROTUBULAR
Fuente: (Bahamondes, 2013)

4.5.2 Generador de Vapor Acuotubular

El agua líquida entra al economizador, donde se calienta hasta una temperatura próxima a la de saturación, se introduce en el calderín y desciende por los tubos de riego hasta el colector inferior, distribuyéndose hacia los tubos vaporizadores, donde se forman las burbujas de vapor que a su vez se separan en el calderín. El vapor saturado puede calentarse por encima de su temperatura de saturación en el sobrecalentador. La circulación del agua por los tubos de bajada (riegos) y de subida (vaporizadores) puede ser por convección natural, debido a la diferencia de densidades o forzada mediante una bomba. (ALONSO, 1996.)

Características:

- Presiones hasta 1500 LPPCM
- Generación de vapor mayor a 300 Klb/h (136 Ton/h)
- Generación de vapor sobrecalentado
- Grandes dimensiones

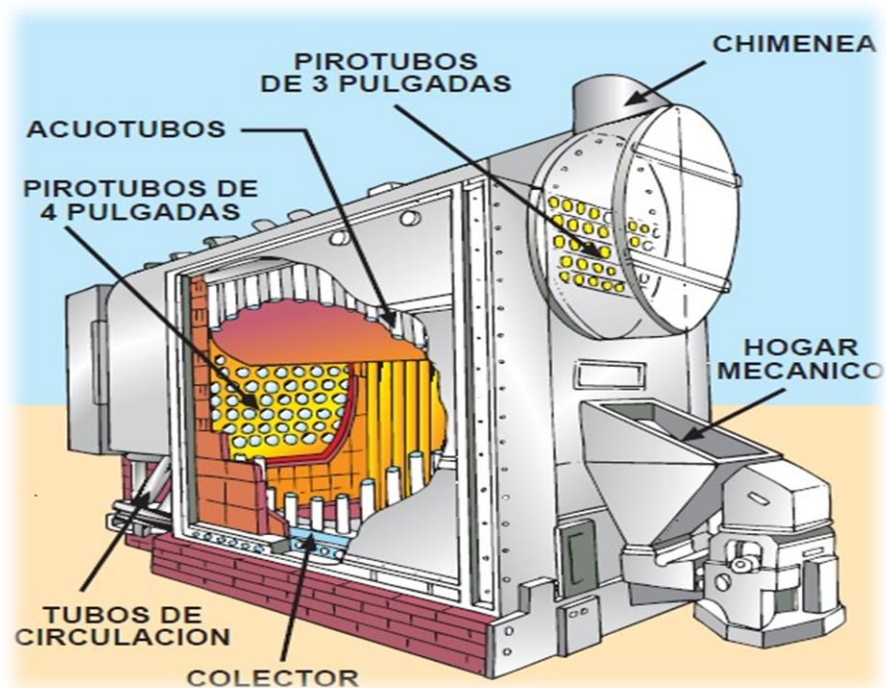


Figura 4: CALDERA ERIC CITY ACUOPIROTUBULAR Fuente: (Bahamondes, 2013)

4.6 PARTES PRINCIPALES QUE COMPONEN UN GENERADOR DE VAPOR

Debido a que cada generador dispone, dependiendo del tipo, de partes características, es muy difícil atribuir a todas ellas un determinado componente. En razón a lo anterior se analizarán las partes principales de los generadores en forma general, especificando en cada caso el tipo de generador que dispone de dicho elemento (Bahamondes, 2013)

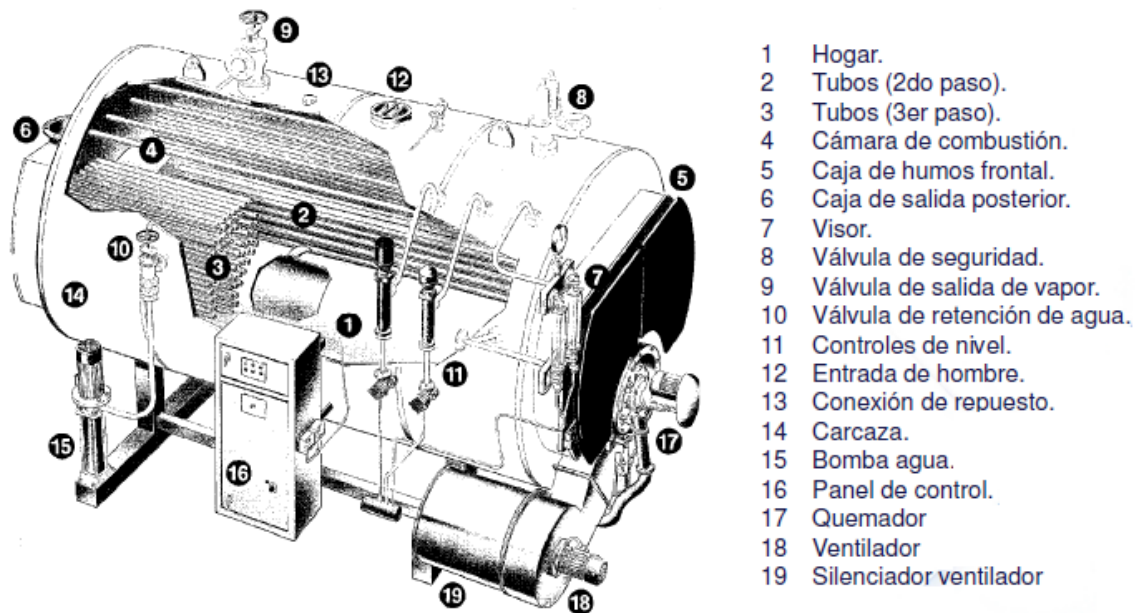


Figura 5: partes principales de un generador de vapor Fuente: (CONAE C. N., mayo 2007)

4.6.1 Hogar o Fogón

Es el espacio donde se produce la combustión. Se le conoce también con el nombre de Cámara de Combustión. (Bahamondes, 2013)

Los hogares se pueden clasificar en:

- a) Según su ubicación.
 - ✓ Hogar exterior.
 - ✓ Hogar interior.
- b) Según el tipo de combustible.
 - ✓ Hogar para combustible sólido.
 - ✓ Hogar para combustible gaseoso.

- c) Según su construcción.
 - ✓ Hogar liso.
 - ✓ Hogar corrugado.

Esta clasificación rige solamente cuando el hogar de la caldera lo compone uno o más tubos a los cuales se les dan el nombre de “Tubo Hogar”.

4.6.2 Puerta Hogar

Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con ladrillo refractario o de doble pared, por donde se echa el combustible sólido al hogar y se hacen las operaciones de control del fuego.

En las calderas que queman combustibles líquidos o gaseosos, esta puerta se reemplaza por el quemador.

4.6.3 Emparrillado

Son piezas metálicas en forma de rejillas, generalmente rectangulares o trapezoidales, que van en el interior del fogón y que sirven de soporte al combustible sólido. Debido a la forma de reja que tienen, permiten el paso del **Aire Primario** que sirve para que se produzca la combustión. (Bahamondes, 2013)

Las parrillas deben adaptarse al combustible y deben cumplir principalmente los siguientes requisitos:

- ✓ Deben permitir convenientemente el paso del aire.
- ✓ Deben permitir que caigan las cenizas.
- ✓ Deben permitir que se limpien con facilidad y rapidez.
- ✓ Deben impedir que se junte escoria.
- ✓ Los barrotes de la parrilla deben ser de buena calidad para que no quemem o deformen.
- ✓ Deben ser durables.

Algunos diseños de parrillas permiten que por su interior pase agua para refrigerarla y evitar recalentamientos.

Tipos de parrilla:

Según su instalación:

- ✓ Fijas o estacionarias: Son aquellas que no se muevan durante el trabajo.
- ✓ Móviles o rotativas: Son aquellas que van girando o avanzando mientras se quema el combustible.

Según su posición:

- ✓ Horizontales
- ✓ Inclinas
- ✓ Escalonadas.

4.6.4 Cenicero

Es el espacio que queda bajo la parrilla y que sirve para recibir las cenizas que caen de ésta. Los residuos acumulados deben retirarse periódicamente para no obstaculizar el paso de aire necesario para la combustión. En algunas calderas el cenicero es un depósito de agua. (Bahamondes, 2013)

4.6.5 Puerta del Cenicero

Accesorio que se utiliza para realizar las funciones de limpieza del cenicero. Mediante esta puerta regulable se puede controlar también la entrada del aire primario al hogar.

Cuando se hace limpieza de fuegos o se carga el hogar, se recomienda que dicha puerta permanezca cerrada con el objeto de evitar el retroceso de la llama ("Lengua de Toro").

4.6.6 Altar

Es un pequeño muro de ladrillo, refractario, ubicado en el hogar, en el extremo opuesto a la puerta del fogón y al final de la parrilla, debiendo sobrepasar a ésta aproximadamente 30 cm. (Bahamondes, 2013)

Los objetivos del altar son:

- ✓ Impedir que caigan de la parrilla residuos o partículas de combustible.
- ✓ Ofrecer resistencia a las llamas y gases para que éstos se distribuyan en forma pareja a lo ancho de la parrilla y lograr en esta forma una combustión completa.
- ✓ Poner resistencia a los gases calientes en su trayecto hacia la chimenea. Con esto se logra que entreguen todo su calor y salgan a la temperatura adecuada.

4.6.7 Mampostería

Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:

- ✓ Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor.
- ✓ Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone, a veces, en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos.

Para este objeto se utilizan materiales aislantes, tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos. (Bahamondes, 2013)

4.6.8 Conductos de Humo

Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. De esta forma, se aprovecha el calor entregado por estos para calentar el agua y/o producir vapor.

4.6.9 Caja de Humo

Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

4.6.10 Chimenea

Es el conjunto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.

4.6.11 Regulador de Tiro o Templador

Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o mejor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

Este accesorio es accionado por el operador de la caldera para regular la cantidad de aire en la combustión, al permitir aumentar (al abrir) o disminuir (al cerrar) el caudal. Generalmente, se usa una combinación con la puerta del cenicero. (Bahamondes, 2013)

4.6.12 Puertas de Explosión

Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Sólo son utilizables en calderas que trabajen con combustible líquido o gaseoso.

4.6.13 Cámara de Agua

Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento. Es el comprendido del nivel mínimo visible en el tubo de nivel hacia abajo. (Bahamondes, 2013)

4.6.14 Cámara de Vapor

Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara. En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada

“domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco). (Bahamondes, 2013)

4.7 RENDIMIENTOS DE LA CALDERA

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el funcionamiento de una caldera es su rendimiento, que se define como la relación entre el calor útil producido (considerando las diversas pérdidas a través de los gases de combustión, las paredes de la caldera y los caudales de purga) y la energía proporcionada por el combustible. Para evaluar el rendimiento es necesario disponer de un analizador de gases de combustión que proporcione la concentración en gases de O₂, CO₂, CO y la temperatura de los gases, así como un termómetro de superficie para medir la temperatura de las paredes de la caldera

Los valores adecuados de O₂, CO y temperatura de gases dependen del tipo de combustible, quemador utilizado y del tamaño de la caldera. Valores de O₂ bajo y CO alto indican que la cantidad de aire de combustión es insuficiente. Esto suele verse reflejado en el color negruzco de los humos que salen por la chimenea. Para nivelar estos valores no hay más que aumentar la compuerta de paso de aire del quemador. Aunque humos claros y una concentración de O₂ elevada no aseguran de por sí un buen funcionamiento. Podría ser que se estuviera utilizando una cantidad excesiva de aire, lo cual implica un gasto energético innecesario, pues el aire "arrastraría" mucho calor por la chimenea impidiendo su aprovechamiento para la calefacción. En este caso debería disminuirse la compuerta de paso del aire hacia el quemador.

El color oscuro de los humos puede implicar también un desajuste en la mezcla aire-combustible debido a una pulverización insuficiente del combustible. Si se emplean combustibles líquidos, es necesario realizar una regulación y limpieza de los quemadores para obtener una buena pulverización. El ahorro de combustible obtenido con una buena regulación de la combustión puede llegar a suponer entre el 5-7 % del consumo total del equipo. Las pérdidas de calor a través de las paredes pueden reducirse hasta un 70-80 %, lo que puede suponer un ahorro del 1-2 % del combustible. Si la temperatura de los gases de chimenea supera los 230 °C, puede ser debido a un mal intercambio de calor en el interior de la caldera. Para solucionarlo, habría que proceder a una limpieza. Una limpieza periódica de la caldera mejora la transferencia térmica en el interior de la misma, aumentando el calor útil obtenido y disminuyendo la temperatura de los gases de salida. Por cada 20°C que se consiga disminuir la temperatura de los gases, se reduce el consumo de combustible en un 1 % aproximadamente. (UCATEE, 2012)

A continuación se presentan las pautas a seguir para mejorar la eficiencia en caldera.

Tabla 1: Optimización del funcionamiento de la caldera
Fuente: Disminución de costos energéticos, IRCE

Valores del análisis	Causa	Solución
CO alto y O ₂ bajo	Cantidad de aire introducido en caldera insuficiente	Aumentar la apertura de la compuerta de paso de aire del quemador
CO ₂ bajo y/o O ₂ alto	Exceso de aire	Disminuir la apertura de la compuerta de paso de aire del quemador
CO alto y O ₂ alto	Mezcla aire combustible inadecuada	Desmontar el inyector, llevar a cabo una limpieza o sustituirlo si fuera necesario y efectuar de nuevo el análisis
Temperatura de paredes > Temperatura ambiente sala	Calderas antiguas o con desperfectos en su aislamiento	Sustitución del aislamiento
Temperatura de gases > 230 °C	Intercambio de calor inadecuado	Limpieza del interior de la caldera o instalación de un economizador de calor

Rendimiento instantáneo y rendimiento nominal.

En un generador de vapor, la *potencia calorífica útil* Q_u es la energía por unidad de tiempo empleada en transformar el agua líquida de alimentación en vapor.

En general, el caudal de vapor, o vapor producido, no es constante. Depende de las necesidades de la planta o central de vapor, aunque no es probable que esté sometido a fluctuaciones notables. La mayoría de los generadores de vapor tienen un punto de funcionamiento óptimo en el cual el rendimiento es máximo. La potencia calorífica útil, referida a estas condiciones óptimas de funcionamiento, es la *potencia nominal* Q_n (ALONSO:)

El rendimiento instantáneo η_i establece la relación entre la potencia calorífica útil instantánea y la potencia calorífica aportada por el combustible

5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

5.1 DIAGNÓSTICO DEL GENERADOR DE VAPOR

El generador de vapor de la UNICA encargado de producir vapor para cocinar los alimentos de los estudiantes inicialmente presenta en su diagnóstico la producción de 100 kg/h de vapor de las cuales en la siguiente tabla se muestra una relación de presión y temperatura en relación con el horario de encendido

Tabla 2: toma de mediciones (presión y temperatura).
Fuente: (Guillermo Cordero.)

horario	presión (bar)	temperatura (k)
6:22	1	300
6:34	2	372
6:42	3	383
6:56	4	328
7:02	6	409,5
7:13	4	393
7:30	6	366
7:43	4,6	369
7:53	6	371
8:08	4	378

Se aprecia por las mediciones efectuadas el comportamiento errático del generador de vapor no acorde con las características propias de la ficha técnica, estos errores se deben en gran medida a los procesos de mediciones los cuales no se realizaron en el punto adecuado de medición. No obstante nos permite considerar la necesidad de implementar la norma de gestión energética de una forma eficiente, para la toma de mediciones según la Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas.

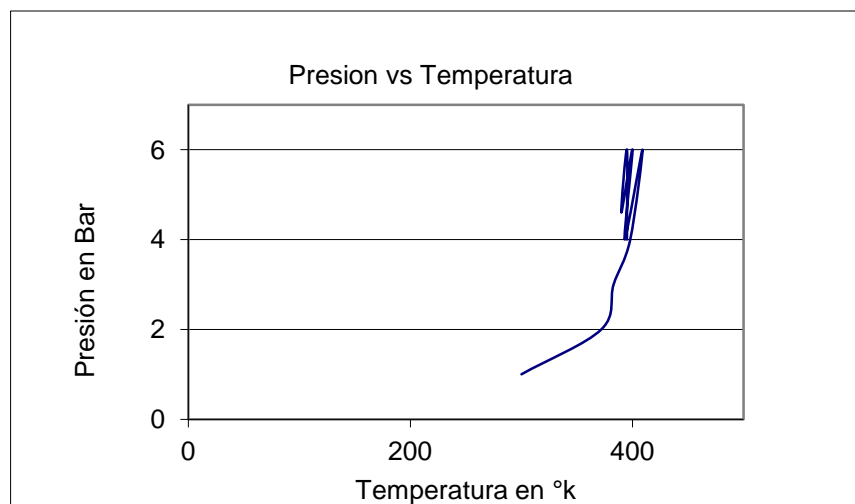


Figura 6: grafica de presión vs temperatura **Fuente:** (Guillermo Cordero)

5.1.1 Expediente del generador de vapor de la única

Tabla 3: ficha técnica de la caldera única
Fuente: (Guillermo Cordero)

Ficha Tecnica	
Nacionalidad:	Cubana
Modelo	CMS-C 1100
No de fabricación:	200-02-34
Año de fabricación:	2007
Producción de Vapor:	1100 Kg/h
Superficien de calefacción:	29.5 m ²
Presión de Cálculo:	13 bar
Temperatura:	184 C ⁰
Presión de Prueba:	19.5 bar
Presión de trabajo:	6 Kgf/cm ²

Fecha de Prueba	20/02/2007
Volumen:	3.11 m ³
Naturaleza del Equipo:	Agua
Fecha de explotación:	11/05/2010

5.1.2 Tipo de Caldera

Pirotubular: El fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura, producto de un proceso de combustión. El agua se evapora al contacto con los tubos calientes efectos a la circulación de los gases de escape.



Figura 7: generador de vapor UNICA modelo CMS-C 1100 **Fuente:** (Guillermo Cordero)

5.1.3 Ficha Tecnica Tension del Quemador

Tabla 4: Tensión del quemador. **Fuente:** (ALASTOR., 2007)

Tensión de trabajo 230V /60Hz									
Modelo de Panel Eléctrico	Rf01xx23	Rf02xx23	Rf03xx23	Rf04xx23	Rf05xx23	Rf06xx23	Rf07xx23	Rf08xx23	Rf09xx23
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modelo de quemador	BT-35	BT-50	BT-75	BT-100	BT-120	BT-180	BT-250	BT-300	BT-350
Modelo de caldera de vapor	CMS-440	CMS-660	CMS-1100	CMS-1100	CMS-1500	CMS-2500	CMS-3000	CMS-4000	CMS-5000
Modelo de Bomba de agua (10kgf/cm2)	CR1-13	CR1-13	CR1-15	CR1-15	CR1-17	CR3-15	CR5-13	CR5-13	CR5-14
Modelo de Bomba de agua (13kgf/cm2)	CR1-17	CR1-17	CR1-19	CR1-19	CR1-19	CR3-19	CR5-16	CR5-16	CR5-18
Consumo del Quemador	10,18a	19,98a	31,29a	32,45a	35,59a	49,06a	67,91a	89,52a	100,83a
Consumo máximo B.Agua	5,70a	5,70a	8,05a	8,05a	8,05a	10,60a	13,60a	13,60a	18,80a
Consumo Bomb. Prod. Químicos	0,25a	0,25a	0,25a	0,25a	0,25a	0,25a	0,25a	0,25a	0,25a
Consumo Control Automático	4,00a	4,00a	4,00a	4,00a	4,00a	4,00a	4,00a	4,00a	4,00a
Consumo Total	20,13a	29,93a	43,59a	44,75a	47,89a	63,91a	85,76a	107,37a	123,88a



Figura 8: quemador del generador de vapor UNICA **Fuente:** (Guillermo Cordero)

5.2 NORMA ISO 50001: 2011

La solicitud a ISO (International Organization for Standardization) para desarrollar una Norma Internacional de gestión de la energía provino de la Oficina de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), quien reconoce que la industria necesita montar una respuesta efectiva al cambio climático y la proliferación de normas nacionales de gestión de la energía. (50001, 2011)

ISO 50001: 2011 ha sido capaz de basarse en numerosas normas de gestión de la energía nacionales y regionales, especificaciones y regulaciones, incluyendo las desarrolladas en China, Dinamarca, Irlanda, Japón, República de Corea, Países Bajos, Suecia, Tailandia, Estados Unidos y la Unión Europea. En un contexto de incremento de los precios mundiales de la energía, la publicación por parte de la ISO de su Norma Internacional ISO 50001: 2011 para la gestión de la energía es particularmente oportuna. La norma ayuda a las organizaciones a mejorar su eficiencia energética y a reducir los impactos del cambio climático. (Organización Internacional de Normalización, 2011).

El objetivo de este estándar internacional es permitir a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento en el uso de la energía. El estándar lleva a reducciones de costo, emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales por medio de la gestión sistemática de la energía. (50001, 2011)

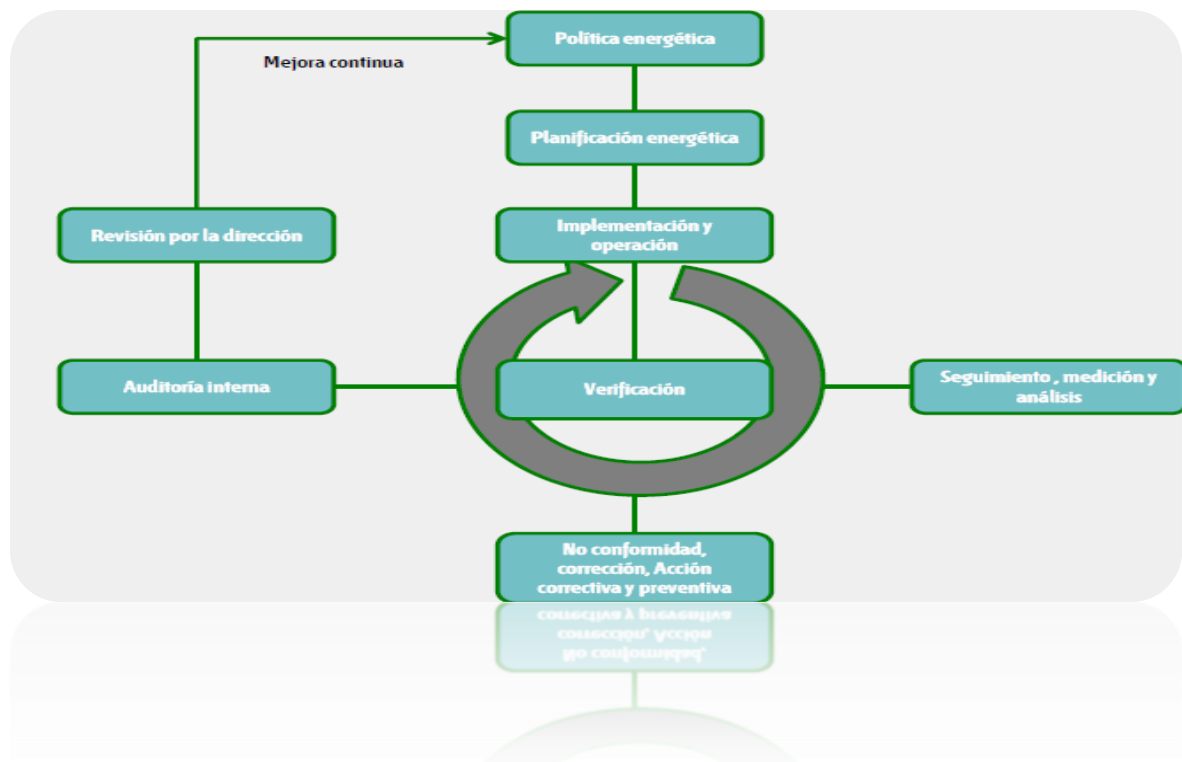


Figura 9: Modelo de Sistema de gestión de la energía ISO 50001: 2011. **Fuente:** ISO 50001: 2011

5.2.1 Gestión energética

A continuación se adjunta un resumen de conceptos de la **Norma ISO 50001** que presentan una especial importancia en los sistemas de medida y monitorización de energía. (SCADA, 2013)

- **Indicador rendimiento energético (EnPi):** Estos indicadores, definidos previamente durante la confección de la política energética de la empresa, nos expresan un valor cuantitativo de la medida del rendimiento energético. El valor del consumo energético tiene que estar relacionado con una variable de referencia que permita interpretarlo correctamente. Por ejemplo: kWh/m², kWh/m³, etc.
- **Eficiencia energética:** Se entiende como tal la relación o ratio entre las actividades, bienes o servicios de una organización y el gasto de energía. Por ejemplo, en caso de una industria de proceso, se hablaría de kWh/unidad producida.
- **Variable energética:** Magnitudes relevantes que afectan el uso de la energía de forma significativa y a su Consumo.
- **Uso de la energía:** Tipo de aplicación en el consumo de energía. Además, la norma define una serie de conceptos básicos, como son línea base, indicador de rendimiento energético (EnPi), usos de la energía, etc. para su posterior tratamiento y gestión
- **Meta energética:** Requisito del rendimiento energético detallado, cuantificable y aplicable a la organización o parte de ella, que se deriva del objetivo energético y que necesita establecerse y cumplirse para alcanzar dichos objetivos
- **Objetivo:** *Output* específico acorde a la política energética definida para aumentar el rendimiento de la organización.
- **Rendimiento energético:** Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, uso energético u consumo energético.

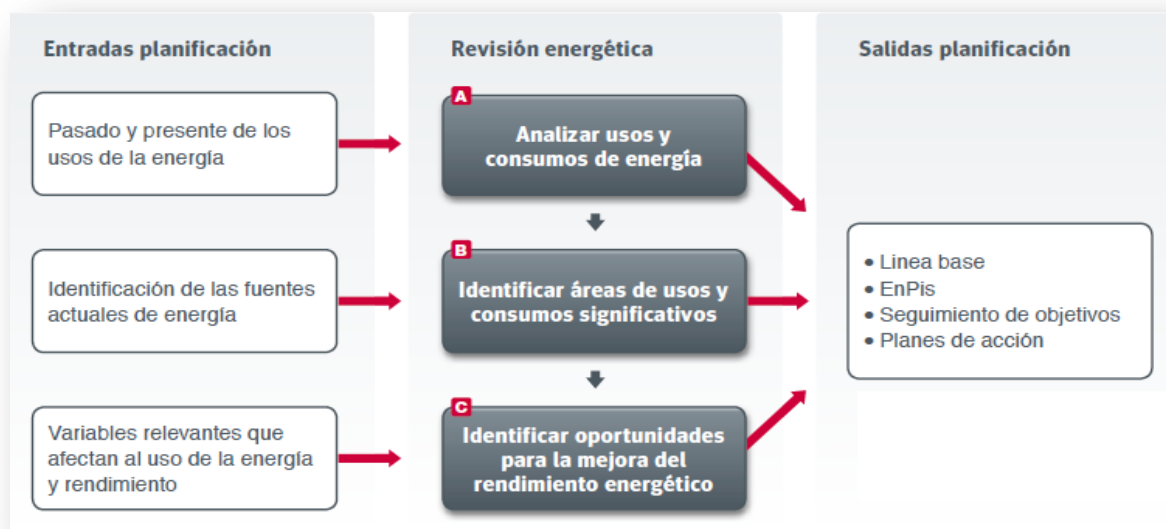


Figura 10: Esquema básico de gestión energética. **Fuente:** (SCADA, 2013)

5.2.2 Implementación norma ISO 50001 2011 en los (G.V)

El propósito de esta norma es permitir a las organizaciones a establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo. La aplicación de esta norma tiene la finalidad de conducir a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía, y otros impactos ambientales relacionados, a través de la gestión sistemática de la energía.

Esta Norma Internacional es aplicable a todos los tipos y tamaños de organizaciones, independientemente de las condiciones geográficas, culturales o sociales. La implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización, y en especial de la alta dirección. Esta Norma Internacional especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) de una organización para desarrollar e implementar una política energética, establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con significativo consumo de energía. Un SGEn permite a una organización alcanzar sus compromisos de política, tomar las medidas necesarias para mejorar su eficiencia energética y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta Norma Internacional. (normalización, 2010)

La aplicación de esta Norma Internacional puede ser adaptada a las necesidades de una organización - incluyendo la complejidad del sistema, grado de documentación y recursos - y se aplica a las actividades bajo el control de la

organización. Esta Norma Internacional se basa en el marco de mejora continua Planificar – Hacer – Verificar - Actuar e incorpora la gestión de la energía en las prácticas cotidianas de la organización. (normalización, 2010)

- **Planificar:** realizar la revisión y establecer la línea base de la energía, indicadores de rendimiento energético, objetivos, metas y planes de acción necesarios para conseguir resultados de acuerdo con las oportunidades para mejorar la eficiencia energética y la política de energía de la organización.
- **Hacer:** poner en práctica los planes de acción de la gestión de la energía.
- **Verificar:** monitorear y medir los procesos y las características claves de sus operaciones que determinan el rendimiento de la energía con respecto a la política energética y los objetivos e informar los resultados.
- **Actuar :** tomar acciones para mejorar continuamente la eficiencia energética y el SGEEn.(sistema de gestión energética)

Tabla 5: gestión de energía para el generador de vapor de la UNICA
Fuente: (Guillermo Cordero)

1	Planificar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Procedimientos de inspección ➤ Evaluación del sistema de vapor
2	Hacer	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Poner en práctica el plan de mediciones
3	Verificar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendimiento energético
4	Actuar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cálculos de la eficiencia térmica

5.3 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN (G.V)

Con vistas a la reducción del consumo de energía y a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono, la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética en los edificios solicitaba, en su artículo 8º, que los estados miembros tomaran, entre otras, las medidas necesarias para establecer una inspección periódica de las calderas que utilicen combustibles no renovables líquidos o sólidos y tengan una potencia nominal efectiva comprendida entre 20 y 100 kW. Dicha inspección también podrá aplicarse a calderas que utilicen otros combustibles. Las calderas con una potencia nominal efectiva de más de 100 kW se inspeccionarán al menos cada dos años, para las calderas de gas, este período podrá ampliarse a cuatro años.

Este mandato, desarrollado en el articulado y en la IT 4 del RITE, necesita de un procedimiento o protocolo práctico que establezca cómo llevar a cabo las labores de medición del rendimiento de las calderas y de sus emisiones de CO₂, de forma que su resultado tenga la necesaria y suficiente validez. ((ATECYR), febrero de 2007)

Para ello, las inspecciones serán llevadas a cabo bajo las siguientes condiciones

5.3.1 Condiciones de toma de medidas

- iniciarán transcurrido un periodo mínimo de 5 minutos a la puesta en marcha de la caldera.
- La toma de muestras de los gases de la combustión y la medición de su temperatura se realizarán con la caldera funcionando a la máxima potencia, asegurándose de que esté a régimen. Para ello, y si fuera necesario, se actuará sobre los termostatos de ambiente y/o temperatura de preparación de ACS al objeto de asegurar que la regulación no cortará o modulará el quemador durante el período que necesitamos para estabilización y medida.
- Cuando la caldera sea mixta, servicio calefacción y ACS, la puesta a régimen y la toma de medidas se efectuarán sobre el servicio de máxima potencia (habitualmente en el modo de producción de agua caliente sanitaria).
- En el momento de realizar los análisis y las mediciones, la temperatura del agua de impulsión de la caldera estará a un valor medio de 70 °C o, en su defecto, no podrá ser inferior en 10 °C a la máxima prevista de funcionamiento.
- La puerta o las ventanas de la sala de máquinas o del local donde estén instaladas las calderas deberán estar cerradas para no modificar las condiciones normales de ventilación y del tiro de la chimenea o conducto de humos.
- Si hubiera que practicar algún orificio en el conducto de evacuación, éste será circular y de 9 mm de diámetro. En ese caso, éste debe ser posteriormente obturado por medio de un tapón de plástico termo resistente (al menos hasta 200 °C).
- En las calderas con quemadores atmosféricos y tiro natural, las muestras se tomarán en el conducto vertical de evacuación de los productos de la combustión, a 15 cm por encima del corta tiro o collarín de unión de dicho conducto con el aparato.
- En las calderas de tipo estanco y de tiro forzado, la toma para los análisis se realizará en el orificio previsto por el fabricante en el conducto de evacuación de los productos de la combustión. Si éste no existiese, se tomará en el conducto vertical de evacuación de los productos de la combustión, a través de un orificio practicado a 15 cm por encima del collarín de unión de dicho conducto con el aparato.

- En las calderas con quemadores mecánicos o calderas de combustibles sólidos, las tomas se realizarán en el conducto de evacuación de los productos de la combustión y a una distancia comprendida entre 0,5 y 1 m después de la caja de humos del aparato.
- En el caso de calderas con quemadores atmosféricos y tiro natural ubicadas en locales de cocina equipados con campana extractora, la campana deberá estar en funcionamiento durante la toma de muestras.
- Se deben evitar las infiltraciones parásitas de aire por el orificio de la toma de muestras al introducir la sonda: el orificio estará posiblemente en depresión y la entrada de aire falso podría alterar los resultados de la analítica e incluso el valor de la temperatura de humos.
- La sonda debe dejarse en la posición de medida al menos 2 minutos, hasta que los valores a medir oscilen muy poco o sean razonablemente estables, en cuyo caso deben registrarse y anotarse. Si los valores están permanentemente oscilando (caso de aparatos en condiciones menos óptimas), deben observarse los valores alcanzados durante 1 minuto, registrando y anotando, si es preciso, el valor lo más cercano posible al máximo observado.
- Si la caldera poseyera en su salida de humos un recuperador de calor, se tomarán las medidas después del mismo

5.3.2 Equipos de medida

Los equipos destinados a la medición de los parámetros necesarios para determinar el rendimiento de las calderas deberán disponer del certificado de calibración, (con trazabilidad para los analizadores de gases de combustión), emitido por un laboratorio certificado o acreditado. En este certificado se harán constar la fecha de emisión y las magnitudes para cuya medición ha sido calibrado el instrumento, no pudiendo la incertidumbre obtenida ser superior a $\pm 10\%$, ni la validez del periodo de calibración superior a 12 meses. ((ATECYR), febrero de 2007)

La información mínima que se debe obtener a través de estos equipos serán los siguientes valores:

- CO₂: % en volumen
- O₂: % en volumen
- CO: partes por millón, ppm.
- Exceso de aire: %
- Rendimiento de la combustión: %
- Temperatura de humos y de ambiente

El valor del rendimiento de la caldera también podrá determinarse por el método directo para aquellas instalaciones equipadas con calorímetros en el circuito de agua de la caldera. ((ATECYR), febrero de 2007)

5.3.3 Intervalos de los valores admisibles de emisión

Los intervalos de valores admisibles de los niveles de emisión de CO₂ y CO para los aparatos alimentados con gas natural o GLP son los que se indican en la Tabla

Tabla 6: intervalo de valores admisibles de co₂ y co para calderas alimentadas con gas natural o GLP. **Fuente:** ((ATECYR), febrero de 2007)

	Potencia nominal útil en (kW)		
	$p_u \leq 35$	$35 \geq p_u \leq 70$	$p_u \leq 70$
Gas natural co₂(%)	> 4,5	>5,5	>8,0
Gas propano co₂(%)	>6,0	>6,5	>9,0
Co máximo (p.p.m)	5,00	5,00	5,00

Los intervalos de valores admisibles para los aparatos alimentados con combustibles líquidos serán los que se indican en la Tabla.

Tabla 7: intervalo de valores admisibles de co₂ y opacidad para calderas alimentadas con combustibles líquidos. **Fuente:** ((ATECYR), febrero de 2007)

	Potencia nominal útil en (kW)		
	$p_u \leq 35$	$35 \geq p_u \leq 70$	$p_u \leq 70$
co₂(%)	10/12	10/12	10/12,5
Inquemados	1	1	1
(Barachat máximo)	1	1	1

Los intervalos de valores admisibles para las calderas de combustibles sólidos serán los que se indican en la Tabla.

Tabla 8: intervalo de valores admisibles de CO_2 y opacidad para calderas alimentadas con combustibles sólidos. **Fuente:** ((ATECYR), febrero de 2007)

Potencia nominal útil en (kW)			
	$p_u \leq 35$	$35 \geq p_u \leq 70$	$p_u \leq 70$
$CO_2(\%)$		10/15	
Inquemados		2	
(Barachat máximo)		2	

Notas a los valores de las tablas:

- 1 Los valores están referidos a composición seca de los gases.
- 2 El límite máximo del contenido de monóxido de carbono CO no diluido en los gases de combustión establecida en la Tabla I marca el umbral de la necesidad de proceder a una limpieza y ajuste de la caldera, aunque las normas de seguridad permitan llegar a este valor hasta los 1.000 ppm.
- 3 Se hace hincapié en vigilar que no exista aire falso que altere las medidas, máxime en instalaciones de gas equipadas con calderas con quemadores atmosféricos. Pasar de un exceso de aire de 1,5 a 3,5 por este motivo dispara la lectura derivada del CO no diluido en la misma proporción en analizadores que derivan este valor de la medición del O_2 .
- 4 El rendimiento energético aumenta al disminuir el exceso de aire y aumenta la concentración de CO_2 hasta el valor estequiométrico. Los valores de partida indicados en la tabla para la concentración de CO_2 deben interpretarse como “valor práctico” para obtener un mínimo exceso de aire que evite la formación de CO y otros inquemados. No obstante, este valor podrá ser superado si la calidad de la combustión se mantiene. ((ATECYR), febrero de 2007)

5.3.4 Determinación del Rendimiento Energético

Las calderas de agua caliente alimentadas por combustibles líquidos y gaseosos que se hubiesen instalado con una fecha posterior al 31 de diciembre de 1997 deberán poseer como mínimo, a potencia nominal, un valor de rendimiento no inferior en 2 unidades al determinado en la puesta en servicio, que a su vez no deberá haber sido inferior en 5 unidades al establecido por la siguiente expresión:

$$\eta = a + b \cdot \log pn (\%). \quad (1)$$

Log: logaritmo en base 10

a y b: funciones de temperatura media del agua

Los valores de a y b se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 9: valores de a y b para temperatura media del agua. **Fuente:** ((ATECYR), febrero de 2007)

TIPO DE CALDERA	TM	COEFICIENTE	
	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
ESTANDAR	70	84,0	2,0
BAJA TEMPERATURA	70	87,5	1,5
CONDENSACION	70	91,0	1,0

El rendimiento mínimo de las calderas de combustibles líquidos y gaseosos instaladas con fecha anterior al 31 de diciembre de 1997, y de las calderas de combustibles sólidos instaladas en cualquier fecha será el indicado en su placa o en su documentación técnica. En caso de no existir esta información, el rendimiento será el resultante de ajustar los valores de los componentes de la combustión a los valores indicados en las tablas I, II o III

5.3.5 Mantenimiento

Las instalaciones de calefacción y preparación de agua caliente sanitaria contarán con el servicio de Mantenimiento en las condiciones que fija el RITE.

Los Partes o el Libro de Mantenimiento descritos en el RITE estarán a disposición de los Inspectores, que comprobarán que el mantenimiento realizado cumple con los mínimos exigidos en dicho Reglamento.

En caso de incumplimiento, el Titular deberá tomar las medidas correctoras para que se cumplan los requisitos mínimos exigidos en el plazo máximo de seis meses a partir de la fecha de Inspección ((ATECYR), febrero de 2007).

5.4 METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE MEDIDAS

Es frecuente que los regímenes de energía no puedan ser medidos directamente y se calculen a partir de mediciones de parámetros como presión, voltaje, temperatura, amperaje, análisis u otros (AVELLA, 2012)

5.4.1 Mediciones de Condiciones del Medio Ambiente.

Se tomarán en el cuarto de máquinas junto al generador de vapor.

- **Temperatura de Bulbo Seco:** Corresponde a la temperatura normal del ambiente y es medida por un termómetro
- **Temperatura de Bulbo Húmedo:** Corresponde a la temperatura medida por un psicrómetro (termómetro similar al anterior pero con una mecha o algodón mojado en la parte sensible por donde se hace circular aire del ambiente).
- **Humedad Relativa:** Se determina con la temperatura de bulbo seco y húmedo usando tablas psicrométricas o con un psicrómetro.
- **Presión Barométrica:** Se determina con un barómetro, barómetro aneroide o conociendo la elevación del lugar y consultando tablas. metro de bulbo o cualquier otro tipo.

5.4.2 Análisis de Gases

Por medio del analizador de gases de combustión Orsat o analizador electrónico de gases de combustión, se deberán tomar muestras a diferentes penetraciones del ducto de escape de gases. En caso de que no existan los puertos para realizar las mediciones correctamente, no sirven los que se encuentran para las mediciones de Semarnap, porque se encuentran alejados de la fuente; se puede hacer un orificio de toma de muestras en el ducto de descarga de gases, cuidando que éste no se localice en puntos donde exista infiltración de aire o cambio de dirección del flujo de gases. Se recomienda realizar este orificio a la salida del generador de vapor.

Temperatura de Gases: se toma la temperatura por medio de un termómetro o termopar en el mismo orificio donde se tomó la muestra de gases. Es recomendable que también se realice la medición a diferentes penetraciones del ducto, con el objeto de obtener la temperatura promedio de los gases. En el caso de utilizar un analizador de gases electrónico, éste ya incluye la sonda de temperatura junto con la de gases. (AVELLA, 2012)



Figura 11: Toma de medida de temperatura del generador **Fuente:** (Guillermo Cordero)

5.4.3 Cantidad de Purga Continua

Se obtiene por la diferencia entre el flujo de vapor y flujo de agua de alimentación (adecuado si no hay fugas de agua en los tubos del generador de vapor). Como esta medición es indirecta depende de la exactitud y confiabilidad de las mediciones realizadas.

5.4.4 Características del Combustible

Utilizar de preferencia la información del combustible de la fuente de suministro, o realizar un análisis de laboratorio de una muestra de combustible.

Cantidad de Combustible:

1. Gaseoso: Por medio de medidor de flujo de orificio, generalmente se instala en la caseta de medición y es proporcionado por el vendedor de combustible, compensado por temperatura, presión y densidad.
2. Líquido: Por medio de medidor de flujo, generalmente de desplazamiento positivo o de área variable, compensado por temperatura o por diferencias de nivel compensado por temperatura en un tanque cubicado.
3. Sólidos: Mediante el pesado del combustible.
4. Otros combustibles: Usar el método de medición utilizado por la empresa diagnosticada, analizándolo y sugiriendo si se puede optimizar.

5.5 CALCULO DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DEL GENERADOR DE VAPOR

La eficiencia térmica es el indicador más importante del trabajo de los sistemas de generación y distribución de vapor y depende de muchos factores. Uno de los métodos más empleados para calcular la eficiencia de trabajo del Generador de Vapor se basan en el Código de Pruebas ASME según la norma **PTC-4-1 Código de Pruebas ASME** para determinar la eficiencia térmica, la capacidad y otras características operacionales del sistema con diferentes propósitos. (Fong., 2015) Este método puede ofrecer dificultades en nuestras industrias debido al elevado número de mediciones y por consiguiente de instrumentos de medición confiables, así como de elevada calificación del personal que realiza la evaluación.

Otro elemento a considerar es que la gran mayoría de las calderas que se emplean en la pequeña industria generan vapor húmedo por lo que la determinación de los valores precisos de las pérdidas anteriormente mencionadas puede ofrecer dificultades al explotador. Los métodos de cálculo señalados, no tienen en cuenta las pérdidas en líneas de vapor por deterioro o ausencia de aislamiento y las fugas debido al mal estado de las líneas de tuberías, válvulas y trampas de vapor, sin embargo para el cálculo de la eficiencia energética del generador de vapor de la UNICA se utilizará como referencia el "Código PTC 4.1 para unidades de generación de vapor del ASME.

El código establece dos métodos para determinar la eficiencia: El método de pérdidas de calor y el de entradas y salidas (Directo). (DR. JUAN CARLOS CAMPOS AVELLA, 2012):

1. El método de pérdidas de calor o sea la determinación de la eficiencia mediante la sustracción en porcentaje de la suma de las pérdidas medidas en la caldera.
2. El método directo o energía que entrega la caldera en el vapor contra la energía entregada a la caldera.

5.5.1 Método de Pérdidas de Calor (Indirecto)

Consiste en la evaluación de las pérdidas en el generador de vapor y del calor suministrado como crédito con los fluidos que entran a él. Para la aplicación del método de pérdidas de calor se requiere determinar lo siguiente:

a. Total de Pérdidas de Calor:

- Por gases secos.
- Por formación de CO.
- Por radiación.
- Por la combustión del H₂.
- Por la humedad del aire.

- Por la humedad en el combustible.
- Pérdidas no determinadas

b. Créditos.

- Calor en el aire de entrada.
- Calor sensible en el combustible.
- Calor que entra con la humedad del aire.
- Calor en el vapor de atomización (externo)

La eficiencia será cuantificada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia} = (1 - \text{Pérdidas}) \times 100\% \quad (2)$$

5.5.2 Método de Entradas y Salidas. (Directo)

En este método lo que se pretende es cuantificar la forma en que es utilizado el calor suministrado por el combustible, agua de alimentación y créditos. Esto es, cuánto de este calor es usado para la producción del vapor, que es el objetivo del sistema de generación, y cuánto calor es perdido por la purga continua y las pérdidas del generador de vapor. Para el método de entradas y salidas se requiere evaluar lo siguiente: (AVELLA, 2012)

- Calor que entra con el combustible.
- Calor que entra con el agua de alimentación.
- Calor que entra por créditos.
- Calor que sale con el vapor generado.
- Calor que sale con la purga continúa.
- Calor que sale con las pérdidas en el generador de vapor.
-

La eficiencia será cuantificada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q_{\text{APROVECHADO}}}{Q_{\text{SUMINISTRADO}}} \times 100 \quad (3)$$

Tabla 10: Errores Probables de Medición y Resultantes en Cálculos de Eficiencia.

Fuente :(Tomado del ASME PTC 4.1, Sección 3).

MÉTODO ENTRADAS Y SALIDAS		
MEDICIÓN	ERROR EN MEDICIÓN, %	ERROR EN EFICIENCIA DE G.V, %
Tanques pesadores (básculas calibradas)	+/- 0.10	+/- 0.10
Tanques medidores (escalas calibradas)	+/- 0.25	+/- 0.25
Tobera u orificio de flujo calibrado (incluyendo manómetro)	+/- 0.35	+/- 0.35
Tobera u orificio de flujo calibrado (incluyendo registrador)	+/- 0.55	+/- 0.55
Tobera u orificio de flujo no calibrado (incluyendo manómetro)	+/- 1.25	+/- 1.25
Tobera u orificio de flujo no calibrado (incluyendo registrador)	+/- 1.60	+/- 1.60
Poder Calorífico (gas y combustóleo)	+/- 0.35	+/- 0.35
Temperatura de salida del sobrecalentador (calibrado)	+/- 0.25	+/- 0.25
Presión de salida del sobrecalentador (calibrado)	+/- 1.00	+/- 1.00
Temperatura de agua de alimentación (calibrado)	+/- 0.25	+/- 0.25
MÉTODO DE PÉRDIDAS		

Poder calorífico (gas y combustóleo)	+/- 0.35	+/- 0.02
Análisis de gases Orsay	+/- 3.00	+/- 0.30
Temperatura de salida de gases de combustión (calibrado)	+/- 0.50	+/- 0.02
Temperatura de aire de combustión (calibrado)	+/- 0.50	+/- 0.00
Humedad del combustible	+/- 1.00	+/- 0.00

5.6 FORMULARIO PARA LOS CÁLCULOS

5.6.1 Determinación del rendimiento por método directo

Se obtiene de establecer el balance térmico para calderas de vapor:

$$G \times H_I \times h = Q_V \times (i_v - i_A) \text{ kcal/h} \quad (4)$$

Caudal teórico de combustible quemado:

- G: Gasóleo, o fuelóleo (kg/h)
- G: Gas natural (m³ N/h)

Poder calorífico inferior del combustible:

- H_i :Gasóleo, o fuelóleo (kcal/kg)
- H_i:Gas Natural (Kcal/m³N)

Q_v :Caudal de vapor generado (Kg/h)

i_v : Entalpía del vapor generado (Kcal/kg)

i_A :Entalpía del agua de alimentación (kcal/kg)

Q_A :Caudal de agua sobrecalentada generada (kcal/h)

η:Rendimiento térmico de la caldera

De donde:

Para generadores de vapor

$$\eta = \frac{Q_v \cdot (t_v - i_a)}{G \cdot H_i} * 100(\%) \quad (5)$$

Los valores Q_v , Q_A , G , se miden con los correspondientes caudales metros. Los valores i_v , i_A , i_{A1} , i_{A2} , se deducen de las presiones y temperaturas que indican los correspondientes instrumentos. El valor H_i , es conocido para los combustibles utilizados gasóleo, fuelóleo, o gas natural.

5.6.2 Determinación del Rendimiento por el Método Indirecto

Para ello, será necesario determinar la suma de todas las pérdidas que se originan en la caldera, a saber:

- Pérdidas por los humos evacuados por la chimenea.
- Pérdidas por inquemados (combustión incompleta).
- Pérdidas por purgas
- Pérdidas por radiación.

1) Pérdidas por los humos evacuados por la chimenea:

Se valoran mediante la fórmula:

$$q_h = \frac{(100 - g) \cdot v_H \cdot c_m \cdot (t_H - t_a)}{H_i} \cdot 100(\%) \quad (6)$$

Siendo:

- q_h : Parte del combustible inquemados %

Caudal de humos que genera la unidad de combustible:

- v_H : Para gasóleo, o fuelóleo (m^3N/kg)
- v_H : Para gas natural (m^3N/m^3N)

Calor específico medio de los humos,
Entre t_H y t_a : c_m ($kcal/m^3N^{\circ}C$)

Temperatura de salida de los humos de la caldera: t_H $^{\circ}C$
Temperatura ambiente: t_a $^{\circ}C$

2) Pérdidas por inquemados (combustión incompleta):

Están valorados por el porcentaje g , indicado en el punto 1), anterior $q_i = g$ %

Lo facilita el fabricante del quemador, y su valor es muy pequeño, del orden del 0,1 al 0,3% con las técnicas actuales.

3) Pérdidas por purgas: Se valoran mediante la fórmula:

$$q_p = \frac{Q_p \cdot (i_{p2} - i_{A1})}{G \cdot H_i} \cdot 100 (\%) \quad (7)$$

Siendo:

- Q_p :Caudal medio de purgas durante el periodo de pruebas (kg/h)
- i_{p2} :Entalpía de las purgas a la presión y temperatura de salida (kcal/kg)
- i_{A1} :Entalpía del agua de alimentación (kcal/kg)

Caudal teórico de combustible quemado:

- G :Para gasóleo, o fuelóleo kg/h
- G :Para gas natural m^3N/h

Poder calorífico inferior del combustible:

- H_i :Para gasóleo, o fuelóleo (kcal/kg)
- H_i :Para gas natural (kcal/ $m^3 N$)

Estas pérdidas son prácticamente nulas en las calderas que generan agua sobrecalentada, y en las calderas que generan vapor son muy pequeñas, dependiendo su valor de la calidad del agua de alimentación y, sobre todo, del tratamiento previsto en la instalación, pero se pueden anular mientras se realizan las pruebas de rendimiento, no realizando purgas en ese periodo.

4) q_R : Pérdidas por radiación (%)

Son las que se produce por la pérdida de calor a través de la superficie exterior del recubrimiento del aislamiento térmico de la caldera. Con una buena ejecución, se puede reducir a valores muy bajos, que, en ningún caso, deberán sobrepasar el 0,5%.

El valor del rendimiento, determinado por el método indirecto, será pues:

$$\eta = 100 - (q_H + q_i + q_p + q_R) (\%) \quad (8)$$

Y como se ha visto, q_i , q_p , y q_R son realmente muy pequeñas, frente a q_H , las pérdidas por los humos que salen por la chimenea, que representa, con mucho, la pérdida más importante las calderas; del orden del 5 al 15%, según los casos. Por otra parte, la determinación de los valores precisos de q_i , v_H , y C_m , puede ofrecer dificultades al explotador. Un procedimiento muy aproximado consiste en la utilización del Diagrama que se adjunta:

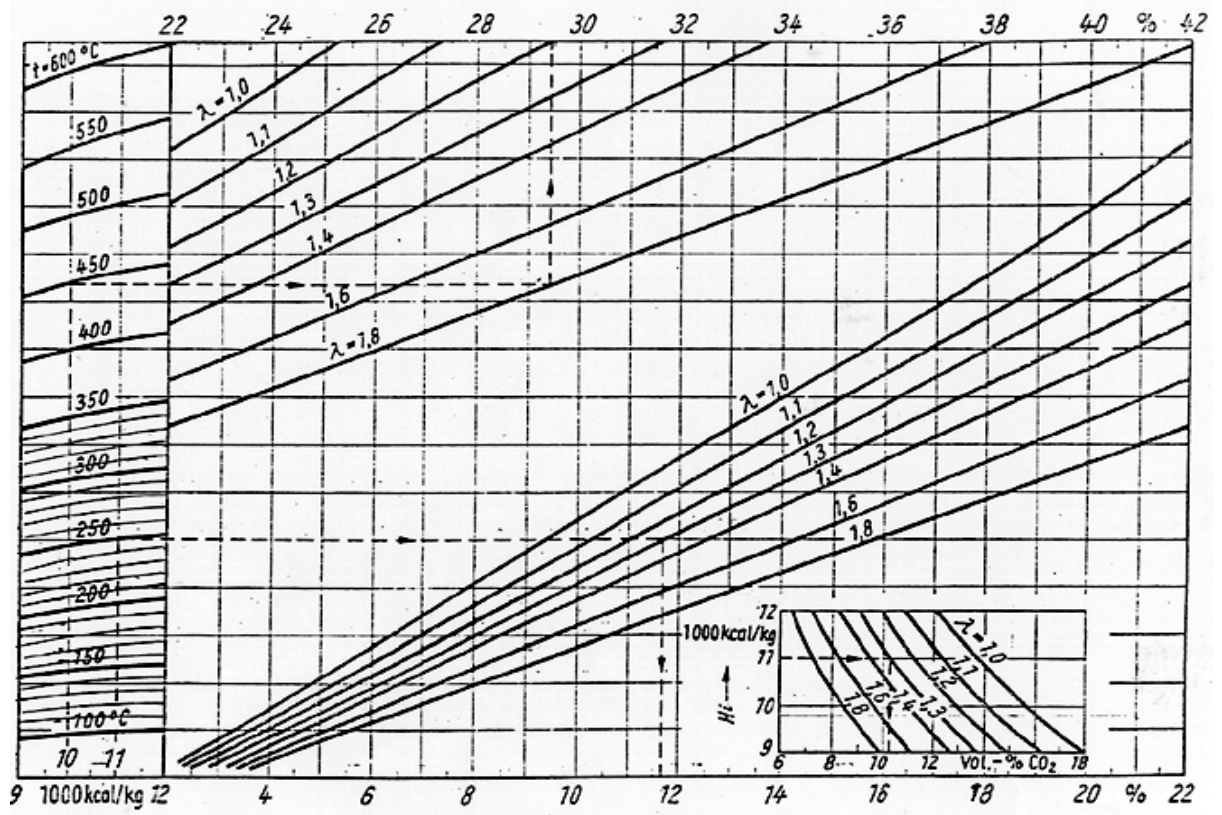


Figura 12: Perdidas de calor por los evacuados para combustibles líquidos y gaseosos.

Fuente: (Energia, 2013)

En el que, con los valores fácilmente conocidos, o medibles de:

- Porcentaje de CO₂ en los humos: %
- Poder calorífico del combustible H_i kcal/kg
- Temperatura de los humos, a la salida de la caldera: t_H °C

Se puede obtener directamente el valor de:

$$\eta = \text{aprox. } (100 - q_H) \% \quad (9)$$

5.7 MATHCAD

Mathcad es un software de computadora diseñado principalmente para la verificación, validación, documentación y re-uso de cálculos de ingeniería. Se introdujo al mercado en 1986 en DOS fue el primero en introducir edición en vivo de la notación matemática combinada con computación automática. Distribuido por PTC es muy visual y permite el uso de plantillas de funciones en las que solo es necesario escribir los valores deseados, incluso para graficar funciones. (Mathcad, 2015)

6. RESULTADOS

6.1 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR.

El desarrollo de la herramienta de cálculo para la evaluación de la eficiencia del sistema de generación, se realizó tomando en consideración todos los criterios formulados anteriormente (códigos de prueba y normas de eficiencia) sobre la base de cálculos rápidos y la bibliografía consultada.

6.1.1 Información Previa

Para la aplicación de la herramienta, se debe recoger la siguiente información:

- Planos o croquis de la ubicación del Generador de vapor. Mono lineal de las tuberías e instrumentación existente.
- Relación de datos de placa del equipo instalado para la generación de vapor. Manuales del fabricante y hojas de datos (si existieran) de operación y mantenimiento del equipo.
- Relación del equipo auxiliar (estado y cantidad de trampas de vapor, bombas de alimentación, válvulas).
- Consumos del combustible empleado.
- Relación de los equipos de medición con que cuenta la instalación; fijo y portátil.
- Características del combustible utilizando los datos de certificado del proveedor.

6.1.2 Condiciones de Operación

Para una evaluación aceptable es necesario que se realice bajo condiciones normales de trabajo por un período mínimo de media hora al 80 - 85 % de carga del Generador de Vapor.

6.1.3 Preparación para la toma de datos.

Antes de realizar las mediciones, se debe mantener la carga del Generador de Vapor durante una hora para que los parámetros de presión, temperatura y flujo se estabilicen. A partir de los 30 min se procederá a tomar lectura de los parámetros y los mismos se consideran estables cuando su variación no exceda del 5 % entre períodos de tomas lectura (15 min). Se debe realizar una inspección completa al sistema para verificar la operación correcta de todos los instrumentos incluyendo el caso de usar los medios portátiles. Se tomarán las mediciones cada 15 minutos.

6.1.4 Toma de Mediciones.

A partir de los 30 min se procederá a tomar lectura de los parámetros y los mismos se consideran estables cuando su variación no exceda del 5 % entre períodos de tomas lectura (15 min), de esta operación dependerá la confiabilidad del cálculo. Otro aspecto importante es la definición de los puntos para la toma de mediciones. Para los cálculos se tomará el valor medio de los valores medidos.

6.2 CALCULO DE CAUDAL TEÓRICO

En la siguiente tabla se presenta los datos de control de combustible que ingresa por mes al generador de vapor durante el año 2016, estos datos fueron facilitados por el jefe de aseguramiento técnico de mantenimiento Boris Luis santana.

Tabla 11: combustible que ingresa al generador por mes
Fuente (Boris Luis santana)

Mes	Combustible de fuel oíl (litros/semana)	Vapor de agua (litros/día)
Enero	350	500
Febrero	1151	450
Marzo	2111	400
Abril	806	450
Mayo	1202	500

Para hallar el caudal teórico del combustible quemado y el vapor generado hay que convertir los litros sobre semana de combustible, en metros cúbicos sobre hora y los litros sobre días de agua, en metros cúbicos hora respectivamente,

Ejemplo: Mes de enero

$$350 \frac{\text{litros}}{7 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{4 \text{ horas}} = 2.083 \frac{\text{litros}}{\text{horas}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} = 2.083 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (10)$$

Se plantea un día de 4 horas porque son días por horas de trabajo del generador de vapor de la UNICA, el resultado obtenido es el caudal en metros cúbicos por

hora de combustible teórico del fuel oíl que se consume en una semana de trabajo.

Para determinar el caudal en kilogramos hora y poder determinar adecuadamente la eficiencia térmica del generador de vapor se busca la densidad del fuel oíl en la tabla de cupet anexo 1 que es de 995.9 kilogramos sobre metro cubico.

$$D = \frac{M}{V} \dots \dots M = V \cdot D \quad (11)$$

$$2.083 \times 10^{-3} \frac{m^3}{h} \times 995.9 \frac{kg}{m^3} = 12.44 \frac{kg}{h} \quad (12)$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados de las ecuaciones anteriores para los meses de trabajo de la caldera del año 2016

Tabla 12: tabla de combustible quemado y vapor generado
Fuente: (Guillermo Cordero)

FECHA	Combustible de fuel oíl (litros/semana)	Combustible de fuel oíl (m ³ /hora)	Combustible quemado de fuel oíl G(kg/h)	Vapor de agua (litro/día)	Vapor de agua generado Q _v (kg/h)
Enero	350	0.0021	12.44	500	125
Febrero	1151	0.041	40.92	450	112.5
Marzo	2111	0.060	60.06	400	125
Abril	806	0.028	28.65	450	112.5
Mayo	1202	0.042	42.73	500	125

6.3 EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADOR DE VAPOR CMS-C 1100 ALASTOR

Para determinar la eficiencia del generador de vapor de la UNICA se empleó el programa para la realización de cálculo Mathcad14.0, herramienta útil para los cálculos y tablas

A continuación se presenta la ecuación de Eficiencia Térmica de una caldera de vapor en función de:

Q_v : Caudal de vapor generado,
 G : el consumo de fuel oil,
 H_i : el poder calorífico inferior,
 i_v : la entalpía del vapor
 i_a : la entalpía del agua.

$$\eta(Q_v, G, H_i, i_v, i_a) = Q_v \frac{(i_v - i_a)}{GH_i} * 0.639 * 100 \quad (13)$$

La caldera instalada en la UNICA funciona dentro de los siguientes rangos hacia las variables de la expresión anterior para la eficiencia térmica de una caldera de vapor:

$$G = 10 \dots\dots 50 \text{ (Kg/h)}$$

$$H_i = 9000, 9100, \dots\dots 9500 \text{ (Kcal/Kg)}$$

$$i_a = (217.15) 0.239 \text{ (Kcal/h)}$$

$$i_v = 600, \dots\dots, 800 \text{ (Kcal/Kg)}$$

$$Q_v = 100, \dots\dots, 300 \text{ (Kg/h)}$$

6.3.1 Eficiencia térmica vs entalpía de vapor

A continuación se presentan los gráficos de la dependencia de la eficiencia térmica de la caldera estudiada, para las variaciones de los parámetros medidos, los datos para la elaboración de la grafica son tomados de Handbook CRC mirar anexo 3

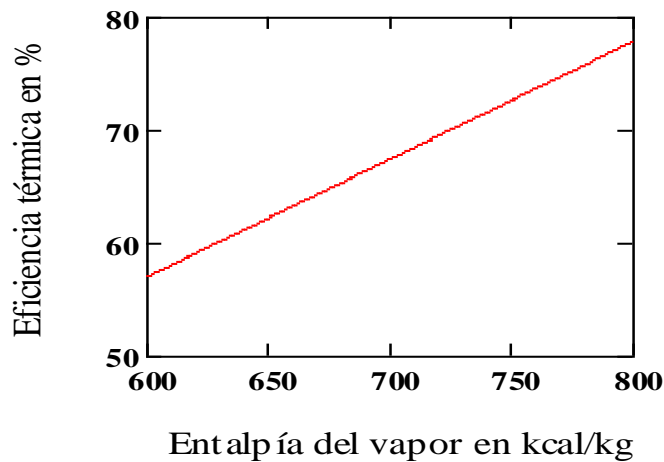


Figura 13: eficiencia termica vs entalpia **Fuente:** (Guillermo Cordero)

En la gráfica anterior se ve un crecimiento de la eficiencia en función de la entalpia de vapor en kcal/ kg

6.3.2 Eficiencia térmica vs caudal de vapor

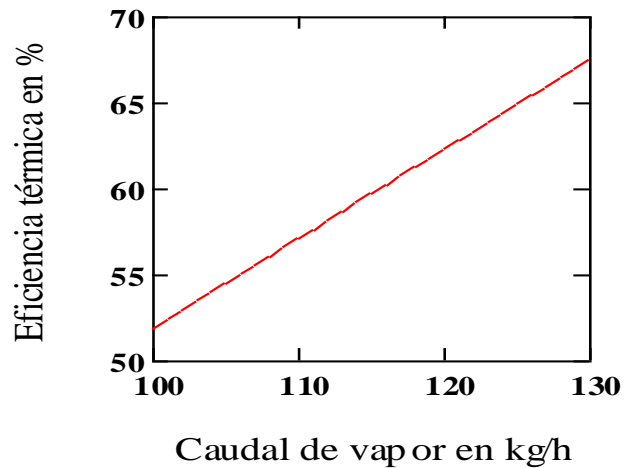


Figura 14: eficiencia termica vs caudal de vapor **Fuente:** (Guillermo Cordero)

En la gráfica anterior se ve un crecimiento de la eficiencia en función del caudal de vapor en kg/h, los datos para la elaboración de la grafica fueron tomados del Handbook CRC mirar anexo 3

6.3.3 Eficiencia térmica vs caudal de fuel oil

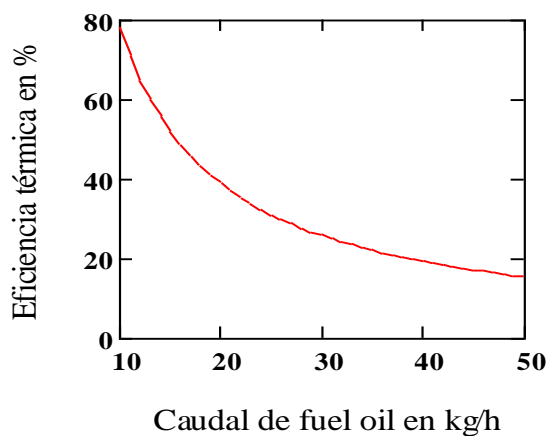


Figura 15: eficiencia termica vs fuel oil **Fuente:** (Guillermo Cordero)

En la gráfica anterior se ve un declive de la eficiencia en función del caudal de fuel oil en kg/h los datos para la elaboración de la grafica fueron tomados de Handbook CRC mirar anexo 3

6.3.4 Eficiencia térmica vs poder calorífico

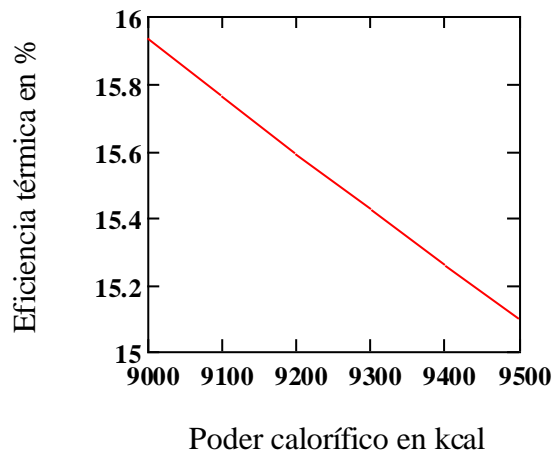


Figura 16: eficiencia termica vs poder calorifico **Fuente:**(Guillermo Cordero)

En la gráfica anterior se ve un declive de la eficiencia en función del poder calorífico datos para la elaboración de la grafica fueron tomados de Handbook CRC mirar anexo 3

6.4 TABLAS DE ENTALPÍA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

A continuación se presenta las Tablas de entalpía en función de la temperatura para presiones de 0,1, 1, 10 y 100 MPa, según (*Chemistry and Physics for the 21st Century*) CRC, 2012.

6.4.1 Ajuste lineal de la entalpía a presión de 0, 1 MPa

A continuación se presenta un ajuste lineal de la entalpía en función de la temperatura a una presión de un bar cabe recordar que a esta presión la caldera está en inicio de trabajo, el ajuste se realizo en el programa Mathcad14.0 quien compara las temperaturas y presiones presentes en el Handbook CRC mirar anexo 3

Tabla 13: entalpia en función de temperatura a una presión de 01 MPa

Fuente: (Guillermo Cordero)

T(K)	H(J/gr)
372.76	2674.9
375	2679.6
400	2730.4
450	2829.6
500	2928.6
550	3028.1
600	3128.8
650	3230.8
700	3334.4
750	3439.5
800	3546.3
850	3654.8
900	3765.0
950	3876.9
1000	3990.7
1050	4106.1
1100	4223.4
1150	4342.3
1200	4463.0

6.4.2 Ajuste lineal de la entalpía a presión de 1 MPa

A continuación se presenta un ajuste lineal de la entalpia en función de la temperatura a una presión de 100 bar cabe recordar que a esta presión la caldera está en su presión ideal de trabajo el ajuste se realizo en el programa Mathcad14.0 quien compara las temperaturas y presiones presentes en el Handbook CRC mirar anexo 3

Tabla 14: entalpia en función de temperatura a una presión de 1 MPa

Fuente: (Guillermo Cordero)

T(K)	H(J/gr)
550	3001.8
600	3109.0
650	3215.2
700	3321.7
750	3429.0
800	3537.5
850	3647.3
900	3758.5
950	3871.3
1000	3985.7
1050	4101.8
1100	4219.5
1150	4228.9

1200	4460.0
------	--------

6.4.3 Ajuste lineal de la entalpía a presión de 10 MPa

A continuación se presenta un ajuste lineal de la entalpía en función de la temperatura a una presión de 1000 bar cabe recordar que a esta presión la caldera está en su presión máxima de trabajo el ajuste se realizó en el programa Mathcad14.0 quien compara las temperaturas y presiones presentes en el Handbook CRC mirar anexo 3

Tabla 15: entalpía en función de temperatura a una presión de 10 MPa

Fuente: (Guillermo Cordero)

T(K)	H(J/gr)
550	2725
600	2820
650	3022
700	3177
750	3314
800	3443
850	3568
900	3691
950	3813
1000	3935
1050	4057
1100	4180
1150	4304
1200	4429

6.4.4 Ajuste lineal de la entalpía a presión de 100 MPa

A continuación se presenta un ajuste lineal de la entalpía en función de la temperatura a una presión de 10000 bar cabe recordar que a esta presión es ara calderas de mayor dimensiones está en su presión máxima de trabajo el ajuste se realizó en el programa Mathcad14.0 quien compara las temperaturas y presiones presentes en el Handbook CRC mirar anexo 3

Tabla 16: entalpia en función de temperatura a una presión de 100 MPa

Fuente: (Guillermo Cordero)

T(K)	H(J/gr)
500	1015
550	1228
600	1448
647.10	1665
650	1679
700	1925
750	2188
800	2466
850	2742
900	3000
950	3231
1000	3440
1050	3631
1100	3809
1150	3979
1200	4142

6.5 ENTALPIA VS TEMPERATURA

Está claro del análisis precedente que la eficiencia de la caldera es fuertemente dependiente de las entalpías del vapor y del agua, las cuales a su vez son función de la presión de la temperatura. A partir de los datos tomados del Handbook CRC del 2012 se tiene la siguiente figura de la dependencia de las entalpías del agua y el vapor en función de la temperatura para varios valores de la presión.

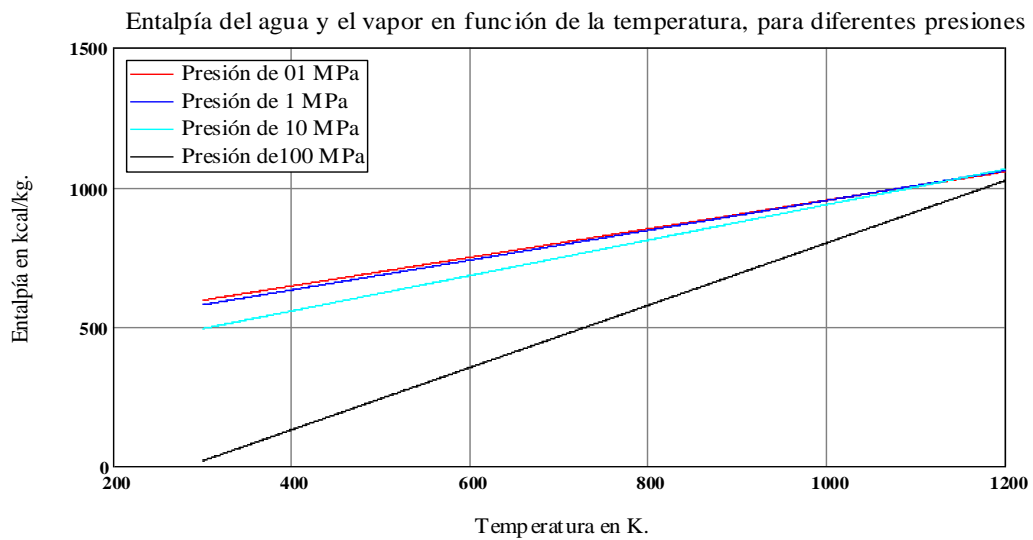


Figura 17: Entalpía del agua en función de la temperatura **Fuente:**(Guillermo Cordero)

6.6 EFICIENCIA DEL GENERADOR PARA LOS MESES DEL AÑO 2016

En las siguientes tablas se presenta la eficiencia térmica del generador de vapor de la UNICA en los meses de enero, febrero marzo, abril, y mayo del año 2016, a una presión experimental de uno a seis bares que vendría a ser la presión de trabajo de la caldera en función de la temperatura.

Enero

T^K	$\eta(125, 12.44, 9500 \times 10^3, H1(T^K), i_a)$
300	0.161
372	0.171
383	0.173
398	0.173
409	0.177
431	0.18

Febrero

T^K	$\eta(112.5, 40.92, 9500 - 100, H1(T^K), i_a)$
300	0.439
372	0.469
383	0.474
398	0.48
409	0.484
431	0.494

Marzo

T^K	$\eta(125, 60.6, 9500 - 100, H1(T^K), i_a)$
300	0.33
372	0.352
383	0.355
398	0.36
409	0.364
431	0.37

Abril

T^K	$\eta(112.5, 28.65, 9500 - 100, H1(T^K), i_a)$
300	0.628
372	0.67
383	0.677
398	0.685
409	0.692
431	0.705

Mayo

T^K	$\eta(125, 42.73, 9500 - 100, H1(T^K), i_a)$
300	0.468
372	0.499
383	0.504
398	0.511
409	0.516

431	0.525
-----	-------

La diferencia entre la entalpia de vapor y el agua a diferentes presiones y temperaturas de 1 a 6 bares y entre 98 y 150 °C

$$\delta_K = (H_{01}(T^K) - H_1(T^K))^{0.239} \quad (14)$$

6.7 CALCULO DE LA EFICIENCIA REAL DEL GENERADOR DE VAPOR

En las siguientes ecuaciones se representa el valor real de la eficiencia del generador de vapor de la UNICA.

$$\begin{array}{ll}
 G = 41.4 \text{ Kg/h} & \text{Caudal de fuel oil} \\
 Q_v = 120 \text{ Kg/h} & \text{Caudal de vapor de agua} \\
 H_i = 9200 \text{ Kcal/Kg} & \text{Poder calorífico interior del fuel oil}
 \end{array}$$

Donde

$$\frac{Q_v}{GH_i} = 3.151 \times 10^{-4} \quad (15)$$

$$\eta_{real_K} = \frac{Q_v}{GH_i} \left(\frac{\delta_K P^K}{0.239} \right)^{1.36} \quad (16)$$

δ_K
16.539
14.915
14.667
14.328
14.08
13.584

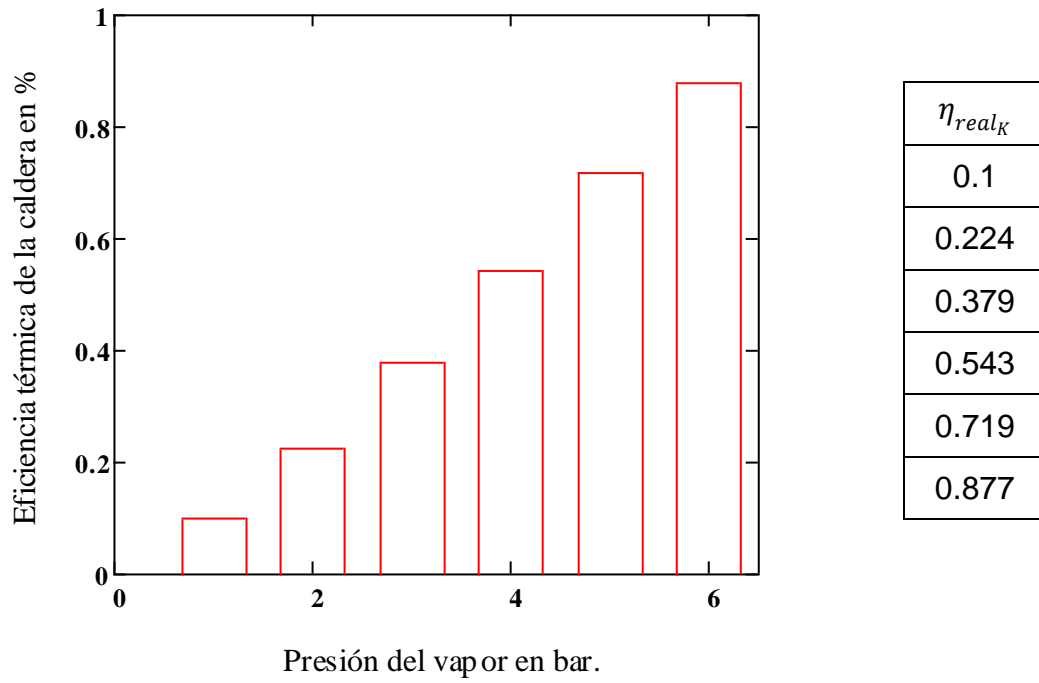


Figura 18: Eficiencia Termica de la Caldera vs Presion **Fuente:**(Guillermo Cordero)

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En el estudio se presentó una forma adecuada para la evaluación de la eficiencia energética en los generadores de vapor partiendo como base las normas y guías establecidas en la industria.
- Se diagnostica inicialmente el estado del generador de vapor CMS-C 1100 ALASTOR presente en la UNICA con la finalidad de observar su funcionamiento inicial y se comprueba que cumple con los requerimientos de la industria y los protocolos de mantenimiento.
- Se implementa la norma ISO 5001 2011 partiendo del ciclo Deming para la mejora continua y las políticas de gestión energética, se establece una relación con la guía técnica de los procedimientos de inspección periódica de eficiencia energética en calderas.
- Se implementa una metodología eficiente para la toma de mediciones a la hora de determinar la eficiencia energética de un sistema térmico se compararon distintas metodologías escogiendo la más completa y detalladas para los procesos de toma de medidas.
- Para la base de los cálculos se realizó en el programa Mathcad14.0 una serie de gráficos y tablas que muestran la relación de la eficiencia térmica con distintos parámetros como son caudal de fuel oil, entalpia de vapor, caudal de vapor, poder calorífico.
- Se realiza una comparación de la eficiencia térmica del generador de la UNICA en los diferentes meses del año siendo la mejor la del mes de abril con un índice de rendimiento teórico de 0.75.
- Se determina la eficiencia térmica real del generador de vapor para distintas presiones de trabajo y se comprueba con respecto a la base teórica que a mayor presión de trabajo mayor índice de eficiencia de los sistemas térmicos.

8. CONCLUSIONES

- Se revisó la documentación escrita que relata sobre los generadores de vapor, las características técnicas.
- Se determina que el rendimiento térmico del generador de vapor a mayor presión de trabajo mayor eficiencia tiene el generador.
- Se realizó el diagnóstico y se encontraron situaciones que permiten implementar una metodología eficiente para la toma de mediciones.
- Se realizaron los cálculos correspondientes para determinar el rendimiento térmico del generador de vapor.
- Se logra evaluar el proceso de generación y distribución de vapor en la Unidad objeto de estudio mediante la aplicación de indicadores de desempeño energético, determinando el nivel de Eficiencia del Sistema.
- Se concluye que en base al consumo de fuel oil la eficiencia de los sistemas térmicos decae.
- Se observó el comportamiento del generador de vapor en los distintos meses del año para realizar una tabla de la eficiencia teórica concluyendo que el mejor comportamiento se vio en el mes de abril.
- Se observó que el generador de vapor cumple con los requerimientos de mantenimiento de la industria.
- Se evaluó la eficiencia térmica real de la caldera y por método directo para determinar el rendimiento térmico se llegó a la conclusión que el generador de vapor tiene una eficiencia de 0.87 en su presión de trabajo.

9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Realizar una correcta planificación del diagnóstico para la toma de mediciones iniciales, un esquema a seguir teniendo como criterio la eficiencia, y una guía para mantenimiento técnico de los generadores de vapor.
- Adecuar la norma ISO 5001 2011 sobre gestión energética, del ciclo Deming planificar, hacer, verificar actuar, en el generador de vapor y la eficiencia según Código de Pruebas ASME de la norma **PTC-4-1 Código de Pruebas ASME**.
- Elaborar programa informático que permita la introducción de la información necesaria Para el cálculo de la eficiencia, la creación de bases de datos para la comparación de los resultados y el propio cálculo de la eficiencia del sistema, como herramienta de trabajo.
- Determinar las nuevas condiciones de comportamiento de la eficiencia del generador de vapor, observar el comportamiento periódico del generador de vapor para la toma de medidas correspondientes
- Evaluar periódicamente el rendimiento térmico del generador con el fin de dar un mejor aprovechamiento al sistema térmico
- Sistematizar la información histórica del desempeño energético de los diversos equipos disponibles, trabajando en las condiciones reales de las operaciones, que permita conocer realmente el desempeño energético de una operación.


10. BIBLIOGRAFÍA

- (ATECYR), A. T. (febrero de 2007). *Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas*. Madrid: IDAE.
- 50001, S. C. (2011). *Requisitos con orientación para su uso*. giebra: Sistemas de gestión de la energía.
- A, B. (2012). centro de estudios energia y medio ambiente. *IDICT (Informacion y Gestion Tecnologica)*, 14.
- ALONSO, L. M. (1996.). *Calderas de Vapor en la Industria*. Bilbao: Ed. Cadem-Eve.
- AVELLA, D. C. (2012). Eficiencia energetica en la generacion y distribucion de vapor. *UN PROYECTO DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA DE COLOMBIA*, 39.
- Bahamondes, P. A. (2013). Descripción de Calderas. *achs*, 26.
- BASKÁKOV, A. P. (1985). *Termotecnia*,. 1985.: Mir,.
- Behn, A. O. (Santiago, Chile 2011). ANÁLISIS DE EFICIENCIA EN CALDERAS. *THERMAL ENGINEERING LTDA.*, 12.
- Betancourt. (1996). *Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. Madrid,: Ministerio de Obras.
- calderas, H. d. (2006). *Enciclopedia Encarta*. u.s.a: Microsof.
- CARRASCAL, A. P. (2013). *DISEÑO MECÁNICO DE UN GENERADOR DE VAPOR TIPO ACUOTUBULAR DE PRESIÓN SUBCRÍTICA*. BARRANQUILLA,: UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE.
- CONAE. (octubre 2002). *Guia de Vapor Para la industria*. mexico: conae: comision nacional para el ahorro de energia.
- CONAE, C. N. (mayo 2007). Eficiencia en calderas y Combustion. *sener secretaria de energia*, 21.
- Díaz, N. T. (2002). *Curso generadores de Vapor*. venezuela: Puerto Ordaz.
- DR. JUAN CARLOS CAMPOS AVELLA. (2012). EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL VAPOR. *PROYECTO DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA DE COLOMBIA (UPME)*, 39.
- Energia, E. P. (2013). *Energía de Castilla y León*. españa: eden.
- Estado, I. d. (2002). OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE GENERADORES DE VAPOR. *Subdirección de Conservación y Mantenimiento*, 33.
- Fong., I. L. (2015). *Indicadores de Desempeño Energético para la Evaluación del*. Ciego de Ávila: unica.
- Lawre, W., Boudreau, J., Perry, & Ding. (2012). *Colsultoria en Eficiencia Energetica*.
- Marcano, I. R. (2008). *generadores de vapor* .
- Marcos A. Golato*, F. J. (jul./dic. 2008). n.2, Rev. ind. agríc. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 10.
- normalizacion, O. I. (2010). *Gana el desafío de la energía con iso 50001*. Suiza: CH - 1211 Ginebra 20.

- Ruiz, B. P. (Abr. Jun 2002). Para medir y Opinar. *¿Qué es el Desarrollo? Revista Energía y Tú*, No 22: 16 – 22.
- Ruiz, B. P. (Abr. Jun 2004.). Energía, Medio ambiente y Sostenibilidad. *Revista Energía y Tu No*, 26: 4 – 11.
- SCADA, P. (2013). *Soluciones de medida y gestion de medida para la norma iso 50001*. 08232 Viladecavalls (Barcelona) España: circutor.
- UCATEE. (2012). *Manual Eficiencia Energetica para Mypes*. Salvador: Fondo Especial Multilateral del Consejo Interamericano para.
- UCATEE, M. (2012). *manual de eficiencia energetica*. El salvador: organizacion de los estados americanos.

11. ANEXOS

Anexo 1: tabla de propiedades diesel.

 Dirección Técnica	MINISTERIO INDUSTRIA BASICA UNION CUBAPETROLEO MANUAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD <i>Especificaciones de productos combustibles</i>	Cód.: DT-GC/C 0702 Rev.: 00 Pág.: 18 de 42
--	--	---

PRODUCTO: PETROLEO COMBUSTIBLE MEDIANO: BAJO VANADIO ALTO VANADIO	CODIGO: BV: 2251020012 AV: 2251010020				
EMPRESAS PRODUCTORAS: E.P.D.P. HABANA E.P.D.P. SANTIAGO DE CUBA E.R.P. CABAIGUAN	PRINCIPALES CONSUMIDORES: UNE Y ECONOMIA				
DESCRIPCION DEL PRODUCTO: LIQUIDO NEGRO Y VISCOSO.					
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO					
INDICES DE CALIDAD	U/M	METODO DE ENSAYO	VALOR ESPECIFICADO		
			BAJO VANADIO	ALTO VANADIO	LIM
1- VISCOSIDAD A 50 °C	mm ² /s	ASTM-D 445 / D 88	181-350	181-350	
2- AZUFRE TOTAL	% m/m	ASTM-D 129 / 1552 / 2622	3.5	3.5	máx
3- TEMPERATURA DE INFLAMACION PM CC	°C	ASTM-D 93	62	62	mín
4- TEMPERATURA DE FLUIDEZ	°C	ASTM-D 97	+16	+16	máx
5- CENIZAS	% m/m	ASTM-D 482	0.10	0.10	máx
6- CARBON CONRADSON	% m/m	ASTM-D 189	15.0	15.0	máx
7- VALOR CALORICO NETO	kcal/kg	ASTM-D 240 / 4868	9500 (1)	9500 (1)	mín
8- DENSIDAD A 15 °C	g/cm ³	ASTM-D 1298	0.9959	0.9959	máx
9- GRAVEDAD A 15 °C	°API	ASTM-D 1298 / D 287	10.5	10.5	mín
10- AGUA POR DESTILACION	% v/v	ASTM-D 95	1.5 (2)	1.5 (2)	máx
11- SEDIMENTOS POR EXTRACCION	% m/m	ASTM-D 473	0.15	0.15	máx
12- VANADIO	ppm	ASTM-D 1548 / D 5863	180	400	máx
13- SODIO	ppm	ASTM-D 1318 / D 5863	40	70	máx
14- ASFÁLTENOS	% m/m	IP 143	13.0 (3)	13.0 (3)	máx
15- ALUMINIO + SILICIO	ppm	ISO 10478	80 (3)	80 (3)	máx
USOS: COMBUSTIBLE DE USO GENERAL EN HORNOS Y CALDERAS INDUSTRIALES Y MARINAS.					
ENVASE Y ALMACENAMIENTO: ENTREGA A GRANEL. ALMACENAMIENTO EN TANQUES SUPERFICIALES O SOTERRADOS.					
PELIGROSIDAD: LIQUIDO COMBUSTIBLE. EVÍTESE EL CONTACTO CON LA PIEL.					
OBSERVACIONES: PARA ENTREGA A LA ECONOMIA: (1) 9200 mín (2) 2.0 máx (3) NO ESTA ESPECIFICADO					

Copia Controlada No. : 25.2

Fecha Emisión: SFT 7 2002

PROHIBIDA SU REPRODUCCION SIN LA AUTORIZACIÓN DEL AREA EMISORA DE CUPET

Anexo 2: generador de vapor alastor serie MCS-1100



Anexo 3: *CRC Handbook of Chemistry and Physics* for the 21st Century tables
propiedades del agua y el vapor

p/MPa	T/K	$\rho/\text{kg m}^{-3}$	$H/\text{J g}^{-1}$	$S/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	$C_p/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	Diel. const.
0.1	273.16	999.84	0.10	0.0000	4.2194	87.90
0.1	300	996.56	112.65	0.3931	4.1806	77.75
0.1	325	987.19	217.15	0.7276	4.1819	69.32
0.1	350	973.73	321.84	1.0380	4.1945	61.79
0.1	372.76	958.63	417.50	1.3028	4.2152	55.61
0.1	372.76	0.59034	2674.9	7.3588	2.0784	1.006
0.1	375	0.58653	2679.6	7.3713	2.0686	1.006
0.1	400	0.54761	2730.4	7.5025	2.0078	1.005
0.1	450	0.48458	2829.7	7.7365	1.9752	1.004
0.1	500	0.43514	2928.6	7.9447	1.9813	1.003
0.1	550	0.39507	3028.1	8.1344	2.0010	1.003
0.1	600	0.36185	3128.8	8.3096	2.0268	1.002
0.1	650	0.33384	3230.8	8.4730	2.0557	1.002
0.1	700	0.30988	3334.4	8.6264	2.0867	1.002
0.1	750	0.28915	3439.5	8.7715	2.1191	1.002
0.1	800	0.27102	3546.3	8.9093	2.1525	1.001
0.1	850	0.25504	3654.8	9.0408	2.1868	1.001
0.1	900	0.24085	3765.0	9.1668	2.2216	1.001
0.1	950	0.22815	3876.9	9.2879	2.2568	1.001
0.1	1000	0.21673	3990.7	9.4045	2.2921	1.001
0.1	1050	0.20640	4106.1	9.5172	2.3273	1.001
0.1	1100	0.19701	4223.4	9.6263	2.3621	1.001
0.1	1150	0.18844	4342.3	9.7321	2.3965	1.001
0.1	1200	0.18058	4463.0	9.8348	2.4302	1.001
1	273.16	1000.3	1.02	0.0000	4.2150	87.93
1	300	996.96	113.48	0.3928	4.1781	77.78
1	325	987.58	217.93	0.7272	4.1798	69.36
1	350	974.13	322.56	1.0374	4.1925	61.82
1	375	957.43	427.64	1.3274	4.2158	55.09
1	400	937.87	533.47	1.6005	4.2535	49.06
1	450	890.39	749.20	2.1086	4.3924	38.81
1	453.03	887.13	762.51	2.1381	4.4045	38.23
1	453.03	5.1450	2777.1	6.5850	2.7114	1.042
1	500	4.5323	2891.2	6.8250	2.2795	1.034

**PROPERTIES OF WATER AND STEAM AS A FUNCTION OF
TEMPERATURE AND PRESSURE (continued)**

p/MPa	T/K	$\rho/\text{kg m}^{-3}$	$H/\text{J g}^{-1}$	$S/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	$C_p/\text{J g}^{-1}\text{K}^{-1}$	Diel. const.
1	550	4.0581	3001.8	7.0359	2.1647	1.028
1	600	3.6871	3109.0	7.2224	2.1292	1.024
1	650	3.3843	3215.2	7.3925	2.1254	1.020
1	700	3.1305	3321.7	7.5504	2.1368	1.017
1	750	2.9140	3429.0	7.6984	2.1566	1.015
1	800	2.7265	3537.5	7.8384	2.1816	1.013
1	850	2.5624	3647.3	7.9715	2.2098	1.012
1	900	2.4174	3758.5	8.0986	2.2402	1.011
1	950	2.2882	3871.3	8.2206	2.2721	1.010
1	1000	2.1723	3985.7	8.3380	2.3048	1.009
1	1050	2.0678	4101.8	8.4512	2.3380	1.008
1	1100	1.9729	4219.5	8.5608	2.3713	1.007
1	1150	1.8865	4338.9	8.6669	2.4044	1.007
1	1200	1.8074	4460.0	8.7699	2.4371	1.006
10	273.16	1004.8	10.1	0.000	4.173	88.30
10	300	1001.0	121.7	0.390	4.153	78.11
10	325	991.46	225.6	0.723	4.160	69.67
10	350	978.09	329.7	1.031	4.173	62.13
10	375	961.62	434.4	1.320	4.195	55.40
10	400	942.42	539.6	1.592	4.230	49.39
10	450	896.16	753.9	2.096	4.355	39.17
10	500	838.02	977.1	2.566	4.602	30.79
10	550	761.82	1218	3.027	5.140	23.53
10	584.15	688.42	1408	3.360	6.123	18.70
10	584.15	55.463	2725	5.616	7.140	1.404