

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



Tesis:

**EVALUAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL CALDERO PARA
ESTANDARIZAR DATOS DE VARIABLES TERMODINÁMICAS Y
SU USO EN LA PLANTA PILOTO DE LA FIQ – UNAP**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentada por los Bachilleres:

**LUIS MIGUEL REAÑO SOPLIN
CESAR AUGUSTO RENGIFO CALDERON**

Asesor:

Ing. ANDRÉS ELISEO GUTIÉRREZ GUIMARAES

**Iquitos – Perú
2015**



Tesis para optar el Título Profesional de INGENIERO QUÍMICO.

Presentado por:

Bach. Luis Miguel Reaño Soplin
Tesista

Bach. Cesar A. Rengifo Calderón
Tesista

Ing. Andrés E. Gutiérrez Guimarães
Reg. CIP. N.° 20867
Asesor

Tesis aprobada en sustentación pública, el 18 de Setiembre Del 2015, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, teniendo como jurado

Ing. Juan Manuel Rojas Amasifen Dr.
Reg. CIP. N.° 21103
Presidente Jurado de Tesis

Ing. Víctor García Pérez
Reg. CIP. N.° 33277
Miembro

Ing. Rafael Trigoso Vásquez Mg
Reg. CIP. N.° 26883
Miembro



DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de tesis a:

A nuestro Dios Padre celestial porque
Él nos dio la vida y todo conocimiento
proviene de Él.

A Jesús quien con su infinito amor,
sostiene nuestras vidas y al Espíritu
Santo que nos da el Entendimiento y
la sabiduría.

A nuestros queridos progenitores
Por el inmenso sacrificio que dedicaron
A nuestra formación, quienes con su
Existencia nos dieron la fuerza y el
Animo a seguir su ejemplo de trabajo
Constante y Superar las dificultades y
Debilidades.

Luis Miguel Reaño Soplin

y

Cesar Augusto Rengifo Calderón

A mi hermano y hermana Gabriela Celeste
por su apoyo permanente que de una y otra
manera me dieron la fuerza para la
culminación de mis estudios y la titulación
profesional.

CESAR AUGUSTO

A mis familiares de cabecera por su apoyo
Para seguir adelante y conseguir lo más ansiado
De todo Universitario, cual es el título profesional.

LUIS MIGUEL



AGRADECIMIENTO

Para la realización y culminación del presente tema, se ha puesto el mayor empeño con la esperanza de que constituya un aporte en el aprovechamiento de los datos reales obtenidos y que sirva en la educación de los estudiantes de ingeniería química usando una metodología Aula-Laboratorio en la enseñanza-aprendizaje.

Este trabajo de Tesis llegó a su feliz culminación, gracias a la invaluable guía de nuestro asesor Ing. Andrés Gutiérrez Guimarães, quien se dedicó a la revisión permanente.

Así mismo, hacemos extensivo nuestro agradecimiento a nuestras familias por su tolerancia y su constante apoyo que nos brindaron su apoyo para ver realidad su esfuerzo que iniciaron con nosotros al darnos el cuidado de nuestra educación universitaria. También a todas las personas que de una u otra manera han contribuido a la culminación del presente trabajo.

Nuestro agradecimiento sincero a nuestra facultad por darnos una formación académica de calidad, que hoy en día la estamos aprovechando. Así mismo damos nuestro sincero agradecimiento y reconocimiento a cada uno de los docentes de nuestra facultad por nuestra formación profesional.

Muchas Gracias...



<u>INDICE</u>	Pg.
I. INTRODUCCION.....	07
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	08
III. OBJETIVOS.....	09
IV. JUSTIFICACION.....	10
V. RESUMEN.....	12
1. <u>CAPÍTULO I: MARCO TEORICO.</u>	13
1.1. Antecedentes.....	14
1.2. Generalidades.....	16
1.3. Teorías Referidas al Área de Investigación.....	17
1.3.1. Primera Ley de la Termodinámica.....	18
1.3.1.1. Aplicación de la Primera Ley a Sistemas Abiertos.....	19
1.3.1.2. Balance de energía para Sistemas Abiertos.....	28
1.3.2. Segunda Ley de la Termodinámica.....	29
1.3.2.1. Aplicación de la Segunda Ley a Sistemas Abiertos.....	31
1.3.2.2. Eficiencia Energética.....	32
1.3.3. Entropía.....	32
1.3.4. Balance de Entropía en Volumen de Control.....	34
1.3.5. Balance de Energía para sistemas Cerrados.....	34
1.3.6. Balance de Energía en Sistemas Abiertos.....	35
2. <u>CAPÍTULO II: FUENTE ENERGETICA DEL CALDERO.</u>	36
2.1. Descripción del Caldero.....	37
2.1.1. Partes del Funcionamiento.....	39
2.1.2. Condiciones de Operación.....	41
2.1.2.1. Características del diseño.....	41
2.1.2.2. Condición Real de la Operación.....	42
2.1.2.3. Rendimiento de la Combustión.....	44
2.1.2.4. Análisis de gases de la Combustión.....	46
2.2. Métodos para Calcular la eficiencia del caldero.....	47
2.3. Conceptos Importantes.....	48
2.4. Procesos de combustión.....	49
2.5. Protección del Ambiente.....	51
2.6. Tecnología.....	51
2.7. Perdidas de Calor.....	52
2.8. Perdidas de Calor en gases de combustión.....	52
2.9. Perdidas por Radiación.....	53



2.10.	Perdidas por Purgas.....	53
2.11.	Quemadores	54
2.12.	Seguridad.....	55
3.	<u>CAPITULO III: ANALISIS EXERGETICO.</u>	56
3.1.	Concepto de Exergía	57
3.2.	Objetivo de la Exergía.....	57
3.3.	Relación Exergía y Ambiente.....	57
3.4.	Estado Muerto.....	58
3.5.	Formas de energía en la Salida del Caldero.....	59
3.6.	Balance Energético del caldero.	60
3.7.	Salida de Energía de Trabajo del Caldero	61
3.8.	Interpretación de Datos.....	62
3.8.1.	Calidad de Vapor.....	62
	<u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	63
	<u>CONCLUSIONES.</u>	73
	<u>RECOMENDACIONES.</u>	76
	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.</u>	78
	<u>ANEXOS.</u>	81
Anexo 1:	Matriz de consistencia.....	82
Anexo 2:	Tratamiento externo para el agua del caldero.....	83
Anexo 3:	Equipo dosificador de agua.....	84
Anexo 3.1:	Limites en que debe mantenerse el agua para caldero.....	85
Anexo 4:	Gases Disueltos en el Agua.....	87
Anexo 5:	Glosario Termodinámico.....	88
Anexo 6:	Sistema Generador de Vapor.....	89



I. INTRODUCCIÓN.

El presente estudio de investigación, a realizar en los ambientes de las planta piloto de Cerveza y Alcohol de la UNAP, busca determinar la cantidad de energía proveniente del caldero, la que servirá para determinar las principales propiedades termodinámicas energéticas tales como la energía interna, entalpía y la entropía del sistema en estudio, a partir de datos directamente mensurables, tales como la presión, temperatura y volumen específico, medidos durante la operación de la fuente de energía.

Partiendo de la información obtenida, se realizará las deducciones correctas de las formas de energía que interactúan con el sistema (equipos), realizando un balance de energía en el caldero, para con ello obtener la cantidad de energía producida y la cantidad de energía útil consumida por los equipos de la plantas pilotos, finalmente se determinará la eficiencia actual del caldero.

Las razones que motivaron a realizar este estudio, son la necesidad de contar con datos reales actuales de las variables termodinámicas energéticas y contrastar con datos teóricos, y, que estos datos sean un aporte para una futura optimización de las plantas pilotos.

Con este estudio se pretende obtener tablas con datos experimentales tabulados y a partir de ello determinar las otras propiedades termodinámicas, así mismo se podrá realizar cálculos como balance de energía, y la determinación de la energía total.

La curiosidad y el interés son dos de los factores decisivos que impulsan a las personas a comprometerse con la investigación. Hay que añadir de inmediato que la primera como la segunda dependen tanto del equipamiento personal heredado, como de la estimulación del medio en que se desenvuelven.



II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

2.1. Formulación Del Problema.

La Universidad Nacional de la Amazonia Peruana cuenta con una infraestructura donde se ubican la plantas pilotos de alcohol y de cerveza, que actualmente su única función es académica, es decir, complementa los conocimientos adquiridos en las aulas con la parte práctica. Las mencionadas plantas pilotos, cuentan con un caldero, la cual genera energía térmica a dichas plantas, el caldero no cuenta con parámetros termodinámicos medibles establecidos, que servirían para estandarizar datos experimentales, y ya que teniendo muchos años de funcionamiento la fuente de energía, y que, a la actualidad no se ha realizado un estudio técnico para tratar de automatizar cualquiera de las plantas, razón por la cual se decidió llevar a cabo un estudio técnico para saber en tiempo real cuanta energía llega a las plantas piloto de alcohol y de cerveza.

2.1.1. Problema General.

- **¿Es posible evaluar la eficiencia energética del caldero de las plantas pilotos de la UNAP, para estandarizar datos de variables termodinámicas?**

2.1.2. Problemas específicos.

- a. Calibración de los instrumentos de superficie de control, el manómetro y termómetro.
- b. Medición de las variables termodinámicas de presión y temperatura, antes y después de su operacionalización.
- c. Registro de las variables termodinámicas del estudio.
- d. Interpretación de datos calculados de variables termodinámicas efectuadas.



- e. Relación de las variables de propiedades termodinámicas calculadas, con las tablas termodinámicas teóricas. Tales como la: u , h , s .
- f. Análisis y predicción el comportamiento en relación a la eficiencia energética.
- g. Cálculos y predicción del comportamiento energético del caldero.
- h. Cálculos de las variables termodinámicas, para su uso en una posible automatización de las plantas y su estandarización.
- i. Cuadro resumen sobre los valores de las variables calculadas para contrastar con los datos bibliográficos.

III. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la eficiencia energética del caldero para estandarizar datos de variables termodinámicas y su uso en la planta piloto de la FIQ-UNAP.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- a. Calibrar los instrumentos de superficie de control, el manómetro y termómetro.
- b. Medir las variables termodinámicas de presión y temperatura, antes y después de su operacionalización.
- c. Registrar las variables termodinámicas del estudio.
- d. Interpretar los datos calculados de variables termodinámicas efectuadas.
- e. Relación de las variables de propiedades termodinámicas calculadas, con las tablas termodinámicas teóricas. Tales como la: u , h , s .
- f. Analizar y predecir el comportamiento en relación a la eficiencia energética.



- g. Efectuar cálculos y predicción del comportamiento energético del caldero.
- h. Estandarizar los datos calculados de las variables termodinámicas, para su uso en una posible automatización de las plantas.
- i. Contribución con un cuadro resumen sobre los valores de las variables calculadas para contrastar con los datos bibliográficos.

IV. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se justifica porque se calculará variables termodinámicas a partir de la fuente de energía (caldero) que genera vapor y este resultado contribuirá para estandarizar datos experimentales para su uso en la plantas pilotos de la FIQ - UNAP y, contrastar los conceptos teóricos existentes en los libros, así como establecer parámetros de operación, tendientes a una optimización de energía para los procesos.

También el estudio técnico realizado tendrá, una justificación en las áreas: de ingeniería básica, tales como Termodinámica, transferencia de calor, Balance de masa y energía. Además en la actualidad en el departamento de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería Química - UNAP, no existe datos experimentales reales concernientes a la toma de medida de las variables termodinámicas a partir de las medidas de presión y temperatura que registra el Caldero.

Por otro lado el estudio abarca situaciones que tienen que ver, no solo con la parte Académica, sino también se justifica realizar este trabajo de investigación, por el alcance que tendrá como:



Social

Este trabajo contribuirá a la facultad de ingeniería química, y los datos obtenidos servirán a estudiantes y docentes para el futuro diseño de equipos, y la posibilidad de automatizar las plantas piloto.

Técnica

Los datos calculados de las variables buscadas serán a partir de la medida de presión y temperatura y a partir del cual contribuir aspectos técnicos de un determinado proceso y determinar el uso racional de la energía necesaria. Así como relacionar con lo estudiado en el curso de Termodinámica.

Por otro lado; la industria de procesos, representa un importante sector en el mundo actual. Su impacto en la economía y en nuestro estándar de vida es evidente. Alimentos en conservas, enlatados en general provienen de la operación y procesos químicos. El ingeniero químico debe estar preparado y capacitado para el análisis y diseños de procesos que satisfagan una necesidad de la sociedad.

La razón, que nos llevó a realizar este trabajo técnico como tesis, es relevante dado que los datos que se obtenga de forma experimental, también servirá de incentivo a los estudiantes de la facultad a continuar experimentando otras áreas y comprobar con los datos bibliográficos.

El motivo, de la realización de este trabajo es de aprovechar las instalaciones y el caldero que tiene tiempo de funcionamiento y nunca se hizo este tipo de trabajo. Por otro lado se tiene la facilidad de recibir el apoyo necesario.

La importancia, de este trabajo de tesis es de ir creando conciencia a nivel del estudiantado y de los profesores que estamos preparados para desarrollar tecnológicamente nuestra sociedad. Los datos experimentales calculados permitirán llegar a valiosas conclusiones y describir si todavía el caldero puede seguir operando.



V. RESUMEN

EL presente trabajo de investigación se realizó tomando en cuenta que las plantas pilotos de la universidad el de cerveza y alcohol no cuentan con datos experimentales; referidos a variable medibles tales como P.T.V y otras propiedades termodinámicas.

Durante la evaluación del caldero, como fuente de energía, se pudo comprobar que los parámetros de presión y temperatura de arranque son los indicados en la teoría, para un caldero de esa capacidad. Actualmente, los parámetros de control en la línea de energía, no son tan confiables, debido a que necesitan mantenimiento o sustitución de partes de equipos.

Por otro lado, evaluamos el tiempo de administración de vapor saturado, en una corrida de 8 horas para la planta piloto de Cerveza, el cual a partir de ello procederemos para los cálculos respectivos.

Se trabajó con una temperatura de 160 °C, presión de saturación de 6.2 bar; las mismas que se calcularon mediante las tablas de vapor, y a partir del cual se calculó otras variables termodinámicas, como el valor del calor de vapor producido que sale del caldero (2846.4 Kj), el calor que proporciona el combustible (3617.33 Kj), la eficiencia energética del caldero (78.6%), volumen de líquido saturado (1.1029 cm³/g), el volumen de vapor saturado (307.14 cm³/g), el volumen específico del agua en el caldero (41.55 cm³/g), la calidad de vapor que llega a la planta piloto (13.22 %) , la entalpía a la entrada del cocedor de cereales (963.66 Kj/Kg), la energía interna específica en la entrada del cocedor (925.48 Kj/Kg), la energía interna específica a la salida del cocedor (927.06 Kj/Kg), el calor total (94.8 Kj), la variación de la entropía (0.1226 kJ/(kg.°K)) y la producción de entropía (7.356 Kj/K). De acuerdo a los cálculos realizados, se puede establecer que los valores hallados como se indican no son cercanos a los datos teóricos. Esto significa que hay pérdida de energía interna al fluir el vapor y se pierde en la línea y va al entorno. Los datos obtenidos en los cálculos realizados para obtener vapor, son datos enteramente prácticos.

También, se comprobó que el uso de la energía en la ingeniería del proceso de control, considerando las diferentes formas de energía que intervienen en el proceso de funcionamiento, y que las variable de calor y trabajo son formas de energía en tránsito. Se realiza un balance de masa y energía en torno a cada equipo auxiliar, y por último se describe la calidad de vapor calculado y a partir de los cálculos encontrados se determinan las variables específicas usando las tablas de vapor saturado.



Capítulo 1:

MARCO TEORICO



1. CAPÍTULO I: MARCO TEORICO.

1.1. Antecedentes.

1.1.1. Antecedentes Internacionales.

PEÑALBA, JORDI (2004), Indica que El objetivo final de este proyecto es obtener el modelo matemático de una Caldera de Vapor Convencional y posteriormente utilizar dicho modelo para simular el comportamiento del sistema y observar su dinámica.

Una vez vistos los resultados, refieren que el diseño del simulador responde bien a los objetivos que se plantean en el proyecto, y constituye una herramienta muy buena para profesionales de la industria y estudiantes, aplicable a cualquier caldera de vapor de cualquier complejo o planta química. ⁽¹⁾

CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA (2013), En este contexto, con la publicación Guía Básica sobre calderas industriales eficientes, enmarcada dentro de la campaña Madrid Ahorra con Energía, pretenden aumentar el conocimiento sobre este tipo de instalaciones y fomentar el ahorro y la eficiencia energética en las mismas. ⁽²⁾

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR (2009), Los estudiantes del curso de Termodinámica de la carrera de Ingeniería Química realizaron una experiencia práctica en el laboratorio de Operaciones Unitarias del TEC Landívar. El objetivo de la práctica consistió en analizar el funcionamiento de una caldera midiendo sus principales propiedades y evaluando posteriormente su eficiencia. Para ello, durante el curso de Termodinámica se explicó como es el funcionamiento de una caldera y de una manera resumida se podría decir que una caldera tiene como objetivo la producción de vapor para obtener energía disponible, ya que el vapor producido contiene un alto nivel de energía interna. Esta energía puede transformarse ya sea en energía mecánica o de otro tipo. ⁽³⁾



COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA (2007), la guía indica que el objetivo de las calderas de vapor es la transformación del agua, a temperatura y presión ambiente, en vapor de agua a una presión y temperatura mayor, partiendo de la energía del combustible utilizado. Su potencia o tamaño abarca un espectro muy amplio: desde las calderas de poca potencia utilizadas en la pequeña empresa, hasta las utilizadas por las grandes plantas generadoras de energía eléctrica. ⁽⁴⁾

QUIÑÓNEZ, N.; ADUM, V.; PINDO, J., (2001), presentan un proyecto que está enfocado en desarrollar un modelo que considere de una manera bastante cercana a la realidad los fenómenos implicados en el comportamiento térmico de las calderas pirotubulares horizontales para luego, incorporarlo en un software y determinar parámetros de salida que servirán para evaluar si un diseño en particular estará dentro de las condiciones normales de operación. El modelo planteado en este proyecto se inicia mediante un análisis termodinámico en el cual se establecerán cuáles son los flujos de calor presentes tanto en el hogar de la caldera como en el haz de tubos. Una vez realizado el análisis termodinámico se procederá a realizar un análisis de transferencia de calor en toda la caldera, para obtener la cantidad de calor que se es capaz de transferir desde los productos de combustión a través del hogar y del haz de tubos hacia el agua que se encuentra en el exterior de los mismos. ⁽⁵⁾

1.1.2. Antecedentes Locales.

VALVERDE, FELIX., (2009), en el presente trabajo se plantea una revisión específica de la operación de transferencia de calor, de tal modo que la caldera que se pretende construir, sirva para la producción de vapor de agua, el cual podrá adoptarse a otros equipos como: concentrador de néctares, destilador por arrastre de vapor, etc. ⁽⁶⁾

PIÑEIRO E., FONSECA R., RUIZ J., (2013), El estudio indica que la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana cuenta con una caldera de **2.5 M/BTU/h** de potencia del quemador, en la plantas pilotos. Se utiliza para generar vapor saturado,



el cual es suministrado hacia la unidad de destilación de la planta de alcohol etílico y hacia la unidad de cocción de la planta piloto de cerveza. El combustible utilizado en la actualidad para la combustión es el Diésel B5, con un volumen promedio de consumo de 4 galones por hora, que genera gasto económico a la facultad que lo utiliza. Este estudio busca la factibilidad económica en el uso de la caldera, ya que este proyecto proporcionara un combustible alternativo, que son los aceites vegetales usados para ser reutilizados como combustible, que brindara a la Facultad de Química mayores ventajas económicas y ambientales. Muy favorables al esquema económico - ambiental planteado en estos años. ⁽⁷⁾

1.2. GENERALIDADES

El presente trabajo de investigación, está referida al estudio de los procesos industriales la misma que en su operacionalización necesita el uso de energía, y estos a su vez involucran una transferencia de calor del sistema al ambiente y viceversa.

Todo proceso industrial que involucre:

- Cambio físico; como por ejemplo la separación en sus componentes de la mezcla alcohol – agua mediante destilación binaria.
- Cambio químico; como por ejemplo la reacción química que ocurre para producir glucosa a partir del almidón presente en la cebada y su posterior fermentación para producción de cerveza.

Actualmente existen tres formas principales de energía de mayor uso en la industria de procesos, las cuales son:

- La electricidad.
- La energía térmica de combustibles aprovechada mediante calentamiento directo.



- El vapor, usado en procesos de calentamiento y en el movimiento mecánico.

El vapor como fuente de energía, tiene algunas ventajas que hacen de éste un medio indispensable de entrega de energía; algunas de estas ventajas son baja toxicidad, relativamente fácil de transportar y alta capacidad de calentamiento.

El vapor, es el vehículo para generar la transferencia de calor necesario para realizar la transferencia de masa en los diferentes procesos que ahí se opera.

Debido a las tendencias actuales en el alza del precio internacional del barril de petróleo que tiene influencia directa en el precio de combustibles como por ejemplo el diésel.

1.3. Teorías Referidas al Área de Investigación.

- **CONCEPTO**

La termodinámica es una rama de la física que estudia la energía y su transformación en sus distintas manifestaciones, como el calor y el trabajo; las restricciones generales que la experiencia ha demostrado y que limitan a tal tipo de transformaciones, se conocen con el nombre de leyes de la termodinámica; estas leyes son primarias en el sentido de que no pueden deducirse de nada más básico y fundamental.

Las aplicaciones industriales más útiles de la termodinámica, se ha realizado desde sus inicios, considerando un sistema termodinámico como un cuerpo material macroscópico.

- **OBJETO, METODOS Y LÍMITES DE LA TERMODINAMICA.**

El objeto de la termodinámica es el estudio de las leyes de las transformaciones mutuas de distintos tipos de energía, ligadas a los pasos de energía en forma de calor y trabajo entre los cuerpos.



El método termodinámico se caracteriza también porque el objeto estudiado es un cuerpo o un grupo de cuerpos separados del mundo material en un sistema termodinámico, llamado sistema.

El sistema tiene límites determinados que lo separa del mundo exterior (medio circundante). El sistema se llama homogéneo, si cada parámetro suyo tiene un mismo valor en todas las partes del mismo o varía continua de un punto a otro. ⁽⁸⁾

1.3.1. Primera Ley de la Termodinámica.

La primera ley es el principio de conservación de la energía aplicado a un sistema de partículas. A cada estado del sistema le corresponde una energía interna U . Cuando el sistema pasa del estado A al estado B, su energía interna cambia, según la relación.

Supongamos que el sistema está en el estado A y realiza un trabajo W , expandiéndose. Dicho trabajo mecánico da lugar a un cambio (disminución) de la energía interna de sistema, es decir

También podemos cambiar el estado del sistema poniéndolo en contacto térmico con otro sistema a diferente temperatura. Si fluye una cantidad de calor Q del segundo al primero, aumenta su energía interna, es decir

Si el sistema experimenta una transformación cíclica, el cambio en la energía interna es cero, ya que se parte del estado A y se regresa al mismo estado, $\Delta U=0$. Sin embargo, durante el ciclo el sistema ha efectuado un trabajo, que ha de ser proporcionado por los alrededores en forma de transferencia de calor, para preservar el principio de conservación de la energía, $W=Q$, luego

- Si la transformación no es cíclica: $\Delta U \neq 0$
- Si no se realiza trabajo mecánico: $\Delta U = Q$
- Si el sistema está aislado térmicamente: $\Delta U = -W$



- Si el sistema realiza trabajo, U disminuye
- Si se realiza trabajo sobre el sistema, U aumenta
- Si el sistema absorbe calor al ponerlo en contacto térmico con un foco a temperatura superior: U aumenta.
- Si el sistema cede calor al ponerlo en contacto térmico con un foco a una temperatura inferior: U disminuye.

Todos estos casos, los podemos resumir en una única ecuación que describe la conservación de la energía del sistema.

$$\Delta U = Q - W$$

Si el estado inicial y final están muy próximos entre sí, el primer principio se escribe

$$dU = dQ - pdV$$

1.3.1.1. Aplicación de la Primera Ley a Sistemas Abiertos.

El concepto de sistema termodinámico abierto permite analizar corrientes fluidas que no se encuentran en equilibrio en ninguna parte de su recorrido.

El procedimiento que se utiliza consiste en seleccionar un volumen de control, de forma que los límites de este flujo se sitúan en puntos de la corriente en donde se puede suponer existen condiciones de equilibrio termodinámico y se asignan valores energéticos a las coordenadas de la región elegida, de forma que se pueda medir la variación de la energía del flujo entre dos o más coordenadas; las variables Independientes que se deben elegir al estudiar este tipo de sistemas son, la posición y el tiempo.

- **Energía de una Corriente Fluida**

Para hallar la energía transportada por una corriente fluida, con relación a una coordenada de posición L se puede considerar un elemento de masa en movimiento,

$\Delta m = m_2^* - m_1^*$, tal como se indica en la Fig.1; la energía que acompaña a esta masa es de tipo potencial, cinética e interna, debiendo tener también en cuenta el trabajo efectuado por la masa situada inmediatamente a continuación del elemento considerado, al empujar a Δm a lo largo de la distancia, $c \Delta t$.

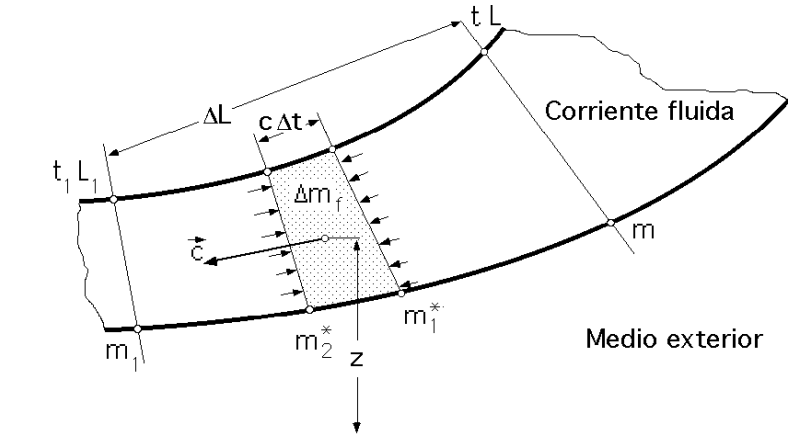


Fig. 1: Volumen de Control de una corriente Fluida

La energía ΔE_1 debida a Δm es,

$$\Delta E_1 = \left(\mu + z + \frac{c^2}{2g} \right) \Delta m$$

El trabajo ΔE_2 efectuado sobre Δm es,

$$\Delta E_2 = (p \Omega)(c \Delta t) \Delta m = p v \Delta m$$

La cantidad de energía total ΔE que acompaña la masa Δm es,

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 = \left(u + z + \frac{c^2}{2g} + p v \right) \Delta m$$

La cantidad exacta de energía total E que acompaña a la masa, $m_2^* - m_1^*$, y atraviesa la posición L , es,

$$E = \int_1^2 dE_1 + dE_2 = \int_{m(t)}^{m_1(t_1)} \left(u + p v + z + \frac{c^2}{2g} \right) dm$$

que difiere de la energía del sistema cerrado en el término, $p v$, *trabajo de flujo*.



- **Ecuación energética de un fluido en régimen estacionario.**

Existen sistemas abiertos en los que un flujo de productos reaccionantes atraviesan una cámara de reacción con cambios importantes en su energía cinética, potencial e interna. Para obtener las condiciones energéticas es necesario combinar consideraciones de tipo mecánico, con otras de tipo termodinámico; como el calor al igual que el trabajo pueden ser (+), (-) o cero, se pueden dar los siguientes casos:

- Si el recinto es una caldera se suministra calor al fluido, $Q (+)$.
- Si es un condensador el fluido suministra calor $Q (-)$.
- Si es una tubería recubierta de material aislante, el proceso es adiabático, $Q = 0$.
- Si es un motor térmico el trabajo generado es $T (+)$.
- Si es un compresor el trabajo aplicado es $T (-)$.
- Si es una válvula el trabajo $T = 0$.

Consideraciones mecánicas.

La variación de la energía mecánica a tener en cuenta, tanto en la entrada como en la salida es

$$\Delta E_{mec} = \frac{m(c_2^2 - c_1^2)}{2g} + m(Z_2 - Z_1)$$

Si se aplica la Primera Ley se obtiene:

$$E_2 - E_1 + E_{mec} + (U_2 - U_1) = 0$$

La cual se puede expresar de la siguiente:

$$m(W + p_2V_2) - m(q + p_1V_1) + \frac{m(c_2^2 - c_1^2)}{2g} + m(Z_2 - Z_1) + m(U_2 - U_1) =$$



Reordenando esta ecuación tenemos:

$$\begin{aligned} q &= W + (U_2 + p_2 V_2) - (U_1 + p_1 V_1) + \frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2g} + (Z_2 - Z_1) \\ &= W + (i_2 - i_1) + \frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2g} + (Z_2 - Z_1) \end{aligned}$$

Esta ecuación energética de un fluido en régimen estacionario, en la que el calor que se suministra a una corriente fluida en régimen permanente se invierte en generar un trabajo y en aumentar la entalpia y la energía mecánica del fluido. ⁽⁹⁾

Consideraciones Termodinámicas.

Si se supone que evoluciona una masa m de un fluido, la energía cedida al sistema a través de la sección 1, es la suma del calor suministrado Q y del trabajo T_1 que esta masa realiza contra la presión p_1 que sobre ella ejerce la misma corriente. El trabajo T_1 es el trabajo de flujo a la entrada del sistema. Ver figura 2.

El trabajo de flujo es $T = p_{1U1} X_1 = p_1 V_1$.

La energía entregada al fluido es:

$$E_1 = Q + T_1 = m q + p_1 V_1 = m q + p_1 m V_1 = m (q + p_1 V_1)$$

La energía proporcionada por el fluido para la masa m , es la suma de:

- Trabajo realizado sobre sus alrededores; $W = m w$
- Trabajo realizado sobre la propia corriente; $W_2 = p_2 V_2$

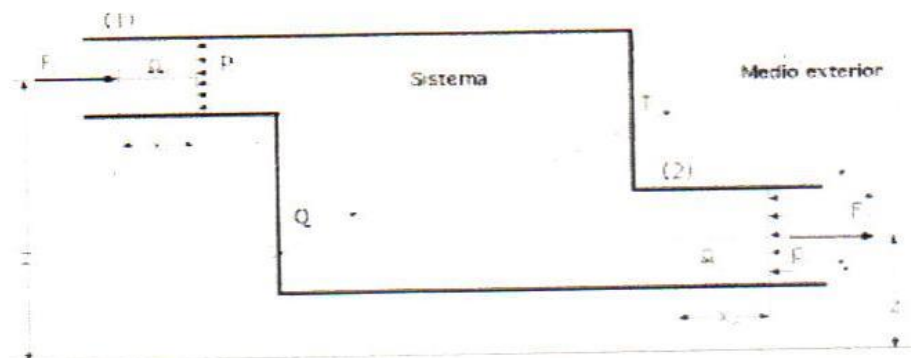


Figura 2:

Entonces la ecuación de la energía suministrada al sistema es:

$$E_2 = m (W + p_2 V_2), \quad \text{con,} \quad V_2 = \frac{V_2}{m}, \quad \text{y,} \quad W = \frac{T_2}{m}$$

Procesos de Calentamiento y enfriamiento.

Los procesos donde se calienta un líquido que puede a su vez vaporizarse y recalentarse, ocurren a presión constante, verificándose que:

$$T = 0 ; E_c = 0 ; E_p = 0$$

Por lo tanto $q = i_2 - i_1$, el calor absorbido se invierte íntegramente en variar la entalpia del sistema.

Los procesos en donde se enfría un líquido, que puede a su vez condensar, también se verifican a presión constante, por lo que también se cumple que

$$q = i_2 - i_1$$



Procesos en tubos aislados térmicamente.

Si un fluido circula por un tubo horizontal, adiabáticamente y son C_0 y C_1 sus velocidades en dos secciones del mismo, se verifica que:

$$q = 0; T = 0; E_c \neq 0; E_p = 0; i \neq 0$$

La ecuación energética del fluido en régimen estacionario es:

$$i_0 + \frac{c_0^2}{2g} = i_1 + \frac{c_1^2}{2g} \rightarrow \Delta i = -\frac{\Delta c^2}{2g}$$

Ecuación de Bernoulli.

Esta ecuación de movimiento está dada por la expresión

$$\rho_1 u_1 A_1 - \rho_2 u_2 A_2 = 0$$

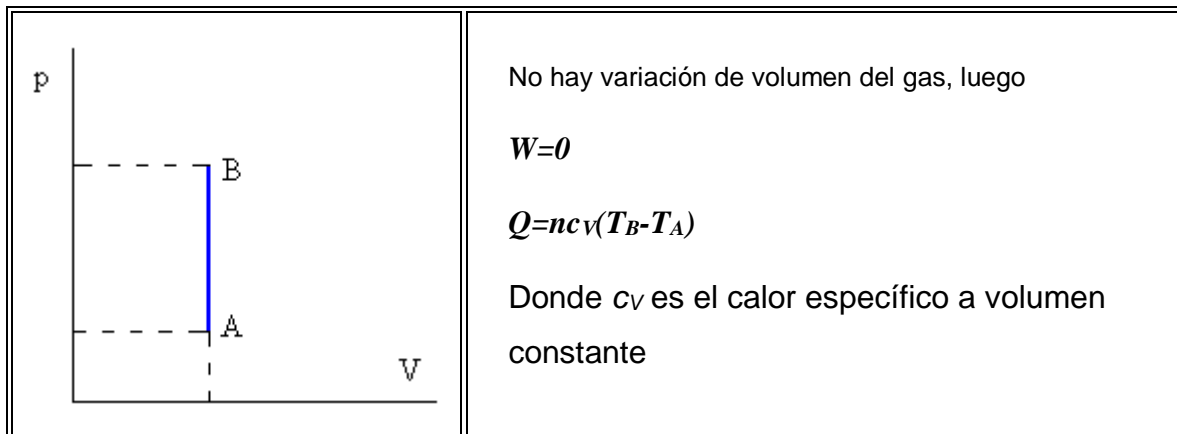
Lo que indica, cuando un fluido avanza por una conducción, se produce una degradación de la energía mecánica por fricción (el trabajo de rozamiento se transforma en calor), lo cual genera un incremento de la energía interna y de la entropía cuando el proceso es adiabático irreversible (la energía es absorbida por el propio fluido), o bien se disipa al exterior en condiciones isoterma.

Transformaciones

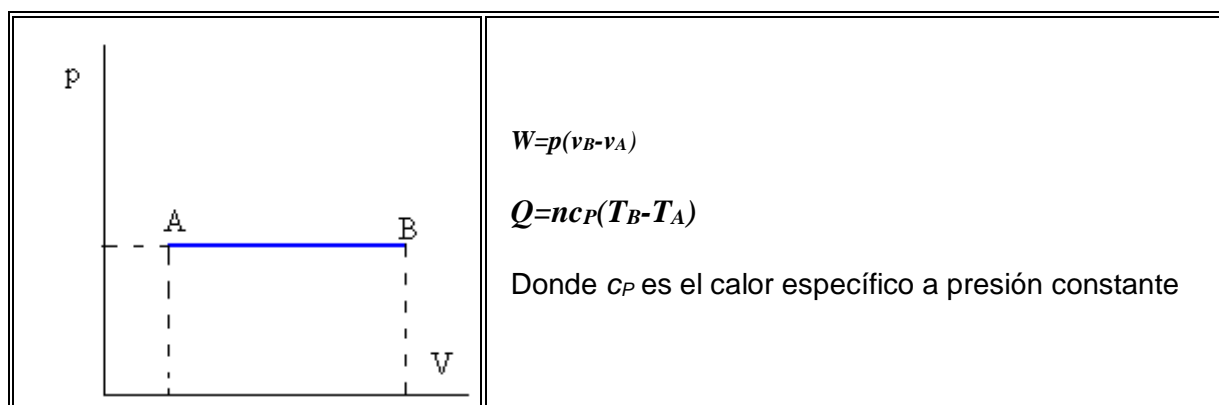
La energía interna U del sistema depende únicamente del estado del sistema, en un gas ideal depende solamente de su temperatura. Mientras que la transferencia de calor o el trabajo mecánico dependen del tipo de transformación o camino seguido para ir del estado inicial al final.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS PROCESOS.

Isócora o a volumen constante (ISOMETRICA)



Isóbara o a presión constante



Calores específicos a presión constante C_p y a volumen constante C_v

En una transformación a volumen constante: $dU = dQ = nc_v dT$

En una transformación a presión constante: $dU = nc_p dT - pdV$

Como la variación de energía interna dU no depende del tipo de transformación, sino solamente del estado inicial y del estado final, la segunda ecuación se puede escribir como: $nc_v dT = nc_p dT - pdV$



Empleando la ecuación de estado de un gas ideal $pV = nRT$, obtenemos la relación entre los calores específicos a presión constante y a volumen constante:

$$c_v = c_p - R$$

Para un gas monoatómico: $U = \frac{3}{2} nRT$ $c_v = \frac{3}{2} R$ $c_p = \frac{5}{2} R$

Para un gas diatómico: $U = \frac{5}{2} nRT$ $c_v = \frac{5}{2} R$ $c_p = \frac{7}{2} R$

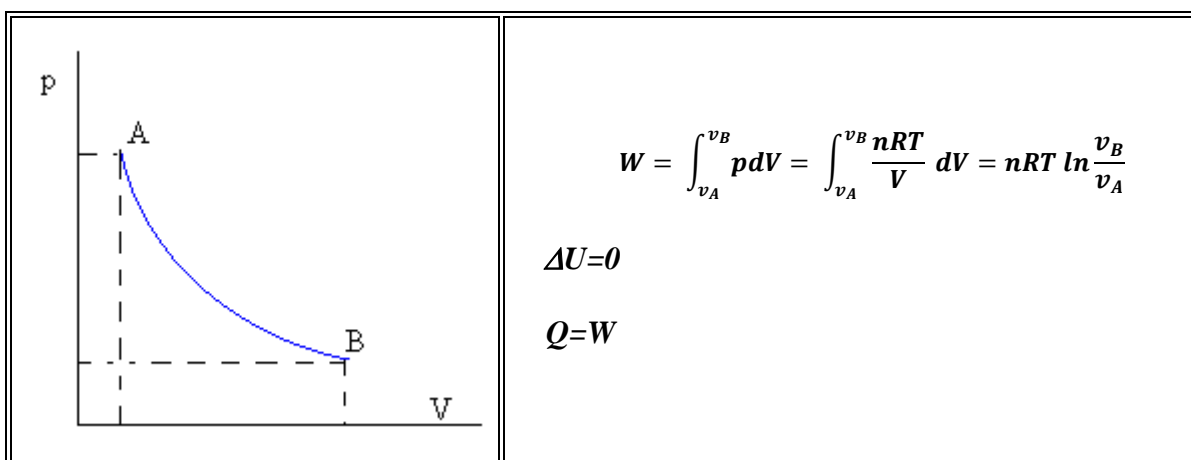
La variación de energía interna en un proceso AB es $\Delta U = nC_v(T_B - T_A)$

Se denomina índice adiabático de un gas ideal al cociente

Isoterma o a temperatura constante

De la ecuación $P V = nRT$

La curva $p = cte/V$ que representa la transformación en un diagrama P-V es una hipérbola cuyas asíntotas son los ejes coordenados.

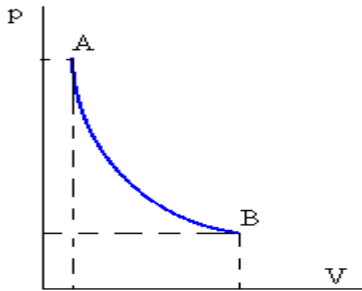


Adiabática o aislada térmicamente, $Q=0$



La ecuación de una transformación adiabática la hemos obtenido a partir de un modelo simple de gas ideal. Ahora vamos a obtenerla a partir del primer principio de la Termodinámica.

Ecuación de la transformación adiabática



Del primer principio $dU = -pdV$

$$nc_V dT = - \frac{nRT}{V} dV \quad \frac{dT}{T} = - \frac{R}{c_V} \frac{dV}{V}$$

Integrando

$$\ln T + \frac{R}{c_V} \ln V = cte \quad TV^{\frac{R}{c_V}} = cte \quad PV^{\frac{R}{c_V} + 1} = cte$$

Donde el exponente de V se denomina índice adiabático γ del gas ideal

$$\gamma = \frac{R}{c_V} + 1 = \frac{c_P - c_V}{c_V} + 1 = \frac{c_P}{c_V}$$

Si A y B son los estados inicial y final de una transformación adiabática se cumple que

$$p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma = cte.$$

Para calcular el trabajo es necesario efectuar una integración similar a la transformación isoterma.

$$W = \int_{V_A}^{V_B} p dV = \int_{V_A}^{V_B} \frac{cte}{V^\gamma} dV = \frac{cte}{-\gamma + 1} (V_B^{-\gamma+1} - V_A^{-\gamma+1}) = \frac{1}{-\gamma + 1} (p_B V_B - p_A V_A) = -nc_V (T_B - T_A)$$

Como podemos comprobar, el trabajo es igual a la variación de energía interna cambiada de signo



$$\text{Si } Q=0, \text{ entonces } W=\Delta U= -nC_V(T_B-T_A)$$

Las aplicaciones industriales más útiles de la termodinámica, se ha realizado desde sus inicios, considerando un sistema termodinámico como un cuerpo material macroscópico.

Una de las leyes fundamentales de la naturaleza es el Principio de conservación de la energía.

La primera ley de la termodinámica es simplemente una expresión de tal principio, de esta ley se deriva que la Energía es una propiedad termodinámica.

De manera general, La primera Ley puede enunciarse de las siguientes formas:

- ***La energía no puede ser creada ni destruida, solo ser alterada en forma.***
- ***En un proceso termodinámico cualquiera, la energía total del sistema en estudio y su entorno permanece constante en el tiempo.***

En términos matemáticos, para un sistema termodinámico en estudio (volumen de control), la primera ley puede expresarse como un balance de energía en sus diversas formas.

1.3.1.2. Balance de energía en sistemas Abiertos.

Para que el balance de energía sea aplicable a los diversos sistemas y procesos termodinámicos que se presentan en la ingeniería química, examinaremos primero los términos que se deben incluir en cada grupo y enseguida los combinaremos para obtener el balance de energía.

La energía transferida está asociada con el cruce de masa y energía a través de las fronteras del sistema, estas formas de energía son el calor y el trabajo (energías en tránsito).

El concepto de sistema abierto permite analizar corrientes fluidas que no se encuentran en equilibrio en ninguna parte de su recorrido.



El procedimiento que se utiliza consiste en seleccionar un volumen de control, de modo que los límites de este flujo se sitúen en puntos de la corriente en donde se puede suponer existen condiciones de equilibrio termodinámico y se asignan valores energéticos a las coordenadas de la región elegida, de modo que se pueda medir la variación de la energía del flujo entre dos o más coordenadas; las variables independientes que se deben elegir al estudiar este tipo de sistemas son la **posición** y el **tiempo**. ⁽¹⁰⁾

Energía Almacenada en un Sistema Abierto

Si se considera un elemento de masa en reposo en un instante determinado t , la energía específica e en un punto cualquiera del elemento será:

$$E_{(t,L)} = \int_{L_1}^L e \, dm$$

y como la masa del volumen de control vale aproximadamente, $\Delta m = \rho \Omega \Delta L$, la energía almacenada en dicho volumen comprendido entre las coordenadas de posición L y L_1 en un instante determinado t , se puede calcular mediante la integral de volumen,

$$E_{(t,L)} = \int_{L_1}^L e \, dm = \int_{L_1}^L e \rho \Omega \, dL$$

1.3.2. Segunda Ley de la Termodinámica.

La segunda ley de la termodinámica establece cuales procesos de la naturaleza pueden ocurrir o no. De todos los procesos permitidos por la primera ley, solo ciertos tipos de conversión de energía pueden ocurrir. Los siguientes son algunos procesos compatibles con la primera ley de la termodinámica, pero que se cumplen en un orden gobernado por la segunda ley.



- 1) Cuando dos objetos que están a diferente temperatura se ponen en contacto térmico entre sí, el calor fluye del objeto más cálido al más frío, pero nunca del más frío al más cálido.
- 2) La sal se disuelve espontáneamente en el agua, pero la extracción de la sal del agua requiere alguna influencia externa.
- 3) Cuando se deja caer una pelota de goma al piso, rebota hasta detenerse, pero el proceso inverso nunca ocurre. Todos estos son ejemplos de procesos irreversibles, es decir procesos que ocurren naturalmente en una sola dirección. Ninguno de estos procesos ocurre en el orden temporal opuesto. Si lo hicieran, violarían la segunda ley de la termodinámica. La naturaleza unidireccional de los procesos termodinámicos establece una dirección del tiempo.

La segunda ley de la termodinámica, que se puede enunciar de diferentes formas equivalentes, tiene muchas aplicaciones prácticas. Desde el punto de vista de la ingeniería, tal vez la más importante es en relación con la eficiencia limitada de las máquinas térmicas. Expresada en forma simple, la segunda ley afirma que no es posible construir una máquina capaz de convertir por completo, de manera continua, la energía térmica en otras formas de energía.

Las observaciones son resultado de la restricción impuesta por la segunda ley a las direcciones en las que ocurren los procesos reales. Dos de las más comunes son las siguientes:

- Ningún equipo puede funcionar de modo que su único efecto (en el sistema y sus alrededores) sea convertir completamente todo el calor absorbido por el sistema en trabajo hecho por el sistema.
- No existe ningún proceso que consista exclusivamente en la transferencia de calor de un nivel de temperatura a otro mayor.



La segunda ley no prohíbe la conversión de calor, pero limita la fracción de calor que puede convertirse en trabajo en un proceso cíclico.

La conversión parcial de calor en trabajo es la base para la generación comercial de energía.

Es usada para determinar la máxima eficiencia que se puede alcanzar en un proceso, sirve para establecer una comparación entre la máxima eficiencia posible y la eficiencia real obtenida.

Todos los esfuerzos realizados para diseñar un proceso de conversión continua y completa de calor en trabajo o en energía mecánica o eléctrica han fallado, pese a las mejoras que se han hecho en los aparatos empleados, por lo que el rendimiento de conversión no suele superar el 40%; estos valores tan bajo conducen a la conclusión de que el calor es una forma de energía intrínsecamente menos útil y menos valiosa que una cantidad equivalente de trabajo, energía mecánica o eléctrica.

1.3.2.1. Aplicación de la Segunda Ley a Sistemas Abiertos.

Una de las grandes aplicaciones es en las maquinas térmicas, que es un dispositivo o máquina que produce trabajo a partir del calor en un proceso cíclico. Un ejemplo de maquina térmica es la planta termoeléctrica, donde el fluido trabajo (vapor) regresa periódicamente a sus estado original. En esta planta, el ciclo tiene las siguientes etapas:

- a. Agua líquida a temperatura cercana a la del medio ambiente se bombea hacia una caldera a alta presión.
- b. La transferencia del calor de un combustible de la caldera al agua, convirtiéndola en vapor a alta temperatura a la presión de la caldera.



- c. Transferencias de energía, como trabajo de eje, del valor a los alrededores, mediante un dispositivo tal como turbina, en el cual el vapor se expande hasta presión y temperatura reducida.
- d. El vapor que queda en la turbina se condensa a temperatura y presión bajas mediante la transferencia de calor al agua de enfriamiento, completando de esta manera el ciclo.

1.3.2.2. Eficiencia Energética.

La eficiencia de una maquina se define como:

$$\eta = \frac{\text{trabajo neto de salida}}{\text{calor de entrada}}$$

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_H|} = \frac{|Q_H| - |Q_c|}{|Q_H|} = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_H|}$$

Se utilizan los signos de valor absoluto para hacer las ecuaciones independientes de las convecciones de signos adoptadas para Q y W. Nótese que para que la η sea uno (100 por ciento de eficiencia térmica), $|Q_c|$ debe ser cero.

1.3.3. Entropía.

La entropía es una propiedad extensiva de la materia caracterizada porque su valor se incrementa al crecer la ineficacia de la energía total del sistema. Como la entropía es una propiedad extensiva de la materia, su magnitud depende solo de la naturaleza de la materia considerada y del estado en que se encuentra y es independiente de su posición externa o de su movimiento respecto a otros cuerpos, de acuerdo a la siguiente expresión.

$$S_2 - S_1 = \left(\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right) \text{int. Rev.}$$



Así pues la bibliografía abunda en por lo menos tres versiones sobre la conceptualización de la entropía:

- a. Una medida de la disponibilidad de convertir calor en trabajo.
- b. Una medida del desorden.
- c. Una medida de la dirección de los procesos naturales.

Puesto que la entropía es una propiedad, el cambio de entropía de un sistema que evoluciona desde un estado a otro es el mismo para todos los procesos reversibles o internamente irreversibles, que pueden desarrollarse entre dichos estados.

APLICACIÓN.

La segunda ley, está enmarcada en la utilización de la máquina térmica, esto es, un aparato o máquina que produce trabajo a partir de calor en un proceso cíclico. Ejemplo, una planta de potencia a base de vapor. Otra de las aplicaciones está en la operatividad de dos máquinas térmicas, una que opera reversiblemente y la otra de forma irreversible.

Ejemplo, en el funcionamiento de una máquina refrigeradora concebida por Sadi Carnot.

Flujo de entropía.

Cuando se habla de balance de energía, se hace una distinción aparentemente arbitraria entre calor y trabajo como flujos energéticos.

Debe recordarse que el calor y el trabajo se refieren a flujos a través de los límites del sistema. La energía cruza el contorno de un sistema en una de estas dos categorías, pero cuando ha entrado o salido, del sistema ya no se le considera como calor o trabajo, sino que sencillamente pasa a formar parte la energía total del sistema.



Al formular los términos de flujo para el balance de entropía deberíamos percatarnos de este importante punto: **los términos se relacionan con lo que cruza el contorno y no con los cambios que ocurre dentro del sistema, sean estos reversibles o irreversibles.** ⁽¹¹⁾

1.3.4. BALANCE DE ENTROPÍA EN UN VOLUMEN DE CONTROL.

El balance de energía es insuficiente para analizar muchos sistemas y muchos procesos termodinámicos ya que la naturaleza ha impuesto ciertas restricciones sobre la transferencia y conversión de energía.

El tratamiento cuantitativo de estas restricciones se ha facilitado con la introducción del concepto de entropía. De esta manera cualquier proceso real deberá cumplir con los principios de conservación de la masa, energía y balance de entropía.

Un sistema puede sufrir un cambio de entropía como resultado de un proceso en donde su energía, masa o volumen pueden cambiar. El procedimiento seguido para obtener la expresión del balance de entropía es similar al del balance de energía.

1.3.5. Balance de Energía para Sistemas Cerrados.

El objeto es discutir la aplicación de la 1ra ley de la termodinámica que es simplemente una expresión del principio de la conservación de la energía para sistemas cerrados, se puede expresarse del modo siguiente.

Cambio en la cantidad de energía contenida dentro del sistema durante un cierto intervalo de tiempo	=	Cantidad neta de energía Transferida al sistema a través de su frontera. Por transferencia de calor durante dicho intervalo de tiempo	-	Cantidad neta de energía transferida fuera del sistema a través de su frontera por Trabajo en dicho tiempo
---	---	---	---	--



Este balance representa que la energía del sistema aumenta o disminuye en una cantidad igual a la transferencia neta de energía a través de su frontera, la que traducida al modelo físico sería:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U = Q - W$$

En forma diferencial será:

$$dE = \delta Q - \delta W$$

El balance de energía también puede escribirse en forma de balance de potencia para ello basta dividir por el intervalo del tiempo a la ecuación anterior, la misma que se expresaría:

$$\frac{dEC}{d_t} + \frac{dEP}{d_t} + \frac{dU}{d_t} = Q - W$$

El principio de la conservación de la energía se expresara en forma más adecuada al análisis de volumen de control en sistemas abiertos.

1.3.6. Balance de Energía en Sistemas Abiertos.

El principio de la conservación de la energía es la expresión más aplicada a los procesos de transformación, es decir:

balance de masa $m_1 = m_2$ conservación de la masa regimen estable

balance de energia : $\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta H = \delta Q - \delta W$



Capítulo 2:
***FUENTE ENERGÉTICA DEL
CALDERO***



2. CAPÍTULO II: FUENTE ENERGETICA DEL CALDERO.

2.1. Descripción del Caldero.

Un caldero es un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) o por utilización de la energía nuclear.

Se emplean para producir agua caliente, vapor saturado, vapor sobrecalentado o calentar aceite térmico.

Caldera de alta presión. Es aquella que genera vapor a una presión mayor de 15 psi, por debajo de esta presión se clasifican como calderas de vapor de baja presión.

Caldera de baja presión. Se define como una caldera baja presión de vapor por que trabaja por debajo de 15 psia de presión o una de agua caliente que funciona por debajo de 160 psia o 250 °F.

Clasificación del Caldero. El caldero a utilizar en el presente trabajo es de tipo pirotubular horizontal (HTR) de retorno horizontal. La caldera pirotubular tiene los finales de los tubos expuestos a los productos de la combustión y tiene otras superficies planas. Los tubos son laminados y con enchape cruzado en los tubos. Este caldero es de presión baja según las especificaciones del fabricante.

En este tipo de calderos los gases fluyen por el interior de los tubos que son sumergidos en agua dentro de un casco. Las presiones operativas de diseño son próximas a 150 psia y sus capacidades varían 10 y 800 Hp. Este tipo de caldero es el más popular y es usado en la mayoría de pequeñas plantas industriales.



Las ventajas de los calderos piro tubulares son:

- Requieren bajo costo de inversión y son menos costosos que los acuotubulares.
- Alcanzan eficiencias de más de 80%.
- Pueden absorber grandes y súbitas fluctuaciones de carga con ligeras variaciones de presión debido al gran volumen de agua contenido en el casco.
- Pueden operar inmediatamente después de ser instalados en planta.

Desde el punto de vista de la elección de la presión más conveniente para un caldero, podemos clasificar en:

Calderos a suministrar vapor saturado para procesos de calefacción.

- Generadores de vapor recalentado para alimentar turbinas a contrapresión y aprovechar el vapor de salida, después de saturarlo para procesos de calefacción.
- Generadores de vapor recalentado para la producción de energía eléctrica en turbinas de condensación.

Como agente de calefacción se utiliza vapor saturado ya que el vapor recalentado tiene las propiedades de un gas y su coeficiente de transmisión de calor es muy pequeño.

Un buen intercambiador de calor calienta un fluido a una temperatura aproximada de 10 °C a 15 °C por debajo de la temperatura del vapor calefactor, partiendo de la temperatura necesaria en el fluido a calentar se deducirá la temperatura requerida en el vapor a la salida del caldero, tomando en cuenta las pérdidas de calor en el transporte. Por medio de las tablas presión-temperatura, se determinará la presión a la cual se tendrá que producir el vapor saturado, para alcanzar la temperatura.



El vapor saturado se utiliza como agente de transmisión de calor hasta una temperatura de 200 °C aproximadamente, lo que supone presiones de 18 atm aproximadamente. Por encima de estas presiones, su utilización suele ser prohibitiva por ser necesario tuberías y aparatos muy robustos; en estos casos se utilizan fluidos porta-calóricos y aceites térmicos. ⁽¹²⁾

2.1.1. Partes del Funcionamiento del caldero.

La caldera (HTR) pirotubular consta de un envolvente cilíndrico, soldada con tubos de igual diámetro que corren a lo largo de la envolvente y a través del volumen ocupado por el agua. El espacio o volumen por encima del nivel de agua sirve como separación y almacenaje de vapor.

Una chapa separadora de agua se suministra normalmente cerca de la salida de vapor para obtener una sequedad del vapor mayor. Este tipo de caldero es de construcción sencilla.

La eficiencia de una caldera depende de su construcción y su método de operación, en general las unidades más viejas tienen una superficie convectiva más pequeña, por lo cual la temperatura de salida de la chimenea es más alta, lo cual reduce la eficiencia. Las unidades más modernas son más eficientes, aunque la necesidad de reducir las emisiones de NOx y monóxido de carbono ha revertido de alguna manera esta tendencia, ya que las tasas de exceso de aire deben ser mayores para asegurar el cumplimiento de los reglamentos de calidad del aire.

Normalmente la eficiencia térmica de las calderas varían entre 60-90%; las calderas construidas en el periodo entre 1975 – 1990 tienen en general valores entre 80-85%

Existen dos tipos de calderas, las pirotubular y las acuotubular, en las calderas pirotubular el combustible es fogueado en el horno y el gas de combustión corre a través de los tubos, el horno y los tubos son instalados dentro de un recipiente



que contiene vapor y agua, el gas de la combustión puede pasar a través de los tubos de 2 a 4 veces antes de salir por la chimenea.

Las calderas pirotubular generalmente están limitadas a producir vapor a una presión de 350 psia. Su régimen de potencia se establece como “potencia de caldera” (Boiler Horse Power – BHP); donde 1 BHP equivale a 33,475 BTU/h. Las calderas pirotubulares varían entre 15-1500 BHP.

Las calderas acuotubulares normalmente son utilizados para presiones de vapor superiores a 350 psig.

Tienen 6 partes:

- Quemador. Aporta el combustible y el aire de combustión, los mezcla y produce la combustión.
- Cámara de combustión. También llamado hogar, es el espacio donde se aloja la llama, es decir se produce la combustión y se transfiere calor por radiación.
- Sección de convección. Zona donde se transfiere el calor de los gases de combustión al fluido a través de las superficies de calefacción.
- Chimenea. Es un tubo a través del cual se eliminan los gases de combustión después de transferir calor al fluido permitiendo regular el tiro.
- Ventiladores de aire. Proporcionan el aire de combustión y lo impulsan a través del caldero.
- Instrumentación y control. Permiten efectuar la operación con seguridad y alcanzar mayores niveles de eficiencia. Existen una gran variedad de calderos.



2.1.2. Condiciones de Operación.

2.1.2.1. Características del diseño.

Cuando James Watt observó que se podría utilizar el vapor como una fuerza económica que reemplazaría la fuerza animal y manual, se empezó a desarrollar la fabricación de calderas, hasta llegar a las que actualmente tienen mayor uso en las distintas industrias.

Las primeras calderas tuvieron el inconveniente de que los gases calientes estaban en contacto solamente con su base, y en consecuencia se desaprovechaba el calor del combustible. Debido a esto, posteriormente se les introdujeron tubos para aumentar la superficie de calefacción. Si por el interior de los tubos circulan gases o fuego, se les clasifican en calderas pirotubular (tubos de humo) y calderas acuotubulares (tubos de agua).

Hasta principios del siglo XIX se usó la caldera para teñir ropas, producir vapor para la limpieza, etc., hasta que Papín creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo, ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse, ésta dejaba de producir trabajo útil. Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

Inicialmente fue empleada como máquina para accionar bombas de agua, de cilindros verticales; fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa en el nuestro.

Así, el caldero de la planta piloto fue diseñado teniendo en cuenta, el uso que se va a dar. En este caso producir vapor saturado a partir del cual se realiza el Trabajo.



Caldero

Fabricante	:	Metal Empresa S.A.
Año de construcción	:	1976.
Potencia	:	40 BHP.
Superficie total	:	1,380 lb/hr.
Pmáx	:	150 psi.

Quemador

Fabricante	:	Ray Burner CO.
Tipo	:	PDSF.
Modelo	J-Single stage (sundstrand) UL-830L.	
Size	:	2
Capacidad	:	1.0-2.5 x 10 ⁶ Btu.
Combustible	:	Diésel 2.

2.1.2.2. Condición Real de la Operación.

1) Conocer las condiciones actuales de funcionamiento del caldero. Esto Significa que se debe tener en cuenta lo siguientes pasos:

a. Conocimiento de las características de diseño del sistema

Las características estructurales y funcionales de los calderos, sus dimensiones, composición del casco y tubos. Conocer tales características representa la opción de alcanzar los mayores niveles de eficiencia previstos por el fabricante. Los principales de diseño que resulta importante conocer en el caso de los calderos generadores de vapor son los siguientes:

- Capacidad nominal de producción de vapor.
- Tipo de caldero.



- Área total de transferencia de calor.
 - Combustibles que pueden emplearse.
 - Presión de timbre del caldero.
 - Control de tiro (natural, forzado o inducido).
 - Tipo de quemador y sistema de automatización.
 - Margen de regulación del quemador.
 - Regulación de la proporción aire-combustible.
 - Sistemas automáticos de regulación y control.
- b. Condiciones mecánicas y funcionales actuales de equipos e instrumentos y su nivel de adecuación respecto a las características de diseño.
- c. Características del combustible y aire de combustión.
Resulta necesario caracterizar el tipo de combustible para determinar su posible influencia sobre la operación, rendimiento y mantenimiento del caldero; son variables importantes:
- ✓ Poder calorífico.
 - ✓ Densidad.
 - ✓ Punto de inflamación.
 - ✓ Viscosidad.
 - ✓ Punto de fluidez.
 - ✓ Residuo de carbón con radson.
 - ✓ Contenido de azufre.
 - ✓ Contenido de cenizas.
 - ✓ Agua y sedimentos.

El aire de combustión debe ser igualmente caracterizado, tomando en cuenta básicamente su densidad y contenido de humedad.

- d. Calidad del agua de alimentación y su sistema de tratamiento.



2) Evaluación de la eficiencia de la combustión.

Siendo la combustión una reacción química que se efectúa entre los componentes del combustible y el oxígeno del aire con el objetivo de liberar la máxima cantidad de calor, para evaluarla efectivamente resultará necesario determinar la medida en que se ha completado tal reacción, convirtiendo los reactantes en productos.

Estando constituido el combustible en un alto porcentaje por carbono e hidrógeno, la máxima eficiencia de la combustión se logrará cuando todo el carbono reacciona con suficiente oxígeno para producir CO_2 y todo el hidrógeno para producir H_2O . Teniendo en cuenta que la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno es muy rápida, resultará básicamente necesario para realizar una efectiva evaluación de la combustión registrar el contenido de CO_2 , la temperatura y la proporción de quemados (índice de Bacharach) en los gases de chimenea.

- a. Medición del CO_2 .
- b. Medición de la temperatura de los gases de chimenea.
- c. Medición de quemados sólidos.

3) Evaluación de las condiciones de transferencia de calor.

4) Cálculo del rendimiento del caldero.

2.1.2.3. Rendimiento de la Combustión.

Una buena combustión requiere 3 puntos fundamentales:

- ✓ Proporción correcta aire-combustible.
 - El diseño del quemador debe asegurar el suministro de las cantidades adecuadas de aire y combustible en el sistema estableciendo márgenes de regulación para ambos.



- Para asegurar la combustión completa deberá proporcionarse un exceso de aire procurando que sea lo mínimo que resulte posible.
 - El análisis de los gases de combustión permitirá conocer el exceso de aire y la eficiencia de la combustión.
 - En función del análisis de gases en forma manual o automatizada se deberá efectuar ajustes en las variables de operación, controlando los resultados obtenidos.
 - Manejando correctamente los puntos anteriores se logrará una combustión completa.
- ✓ Mezcla adecuada aire-combustible.
- El diseño del quemador deberá proporcionar las condiciones de mezcla aire-combustible más adecuado para cada caso.
 - La mezcla debe ser uniforme y permanente para cada punto de regulación dentro de los márgenes de operación.
 - El objetivo principal de la mezcla será lograr el máximo contacto superficial entre oxígeno y combustible.
 - El estado físico del combustible determinará las condiciones operativas que permitan preparar el combustible (pulverización, atomización, vaporización) en el caso de sólidos y líquidos y efectuar la mezcla en forma conveniente para cada caso.
 - Manejando correctamente los puntos anteriores se logrará una combustión óptima.
- ✓ Ignición inicial y sostenida de la mezcla.
- El encendido o ignición de la mezcla requiere el aporte de calor de una fuente externa.
 - Resulta necesario aplicar mucho calor a un área localizada para acelerar la reacción.
 - La mezcla se encenderá sólo al alcanzar su temperatura mínima de ignición, variable para cada combustible.



- Al producir las reacciones de combustión más calor del que se pierde a los alrededores, se mantendrá la combustión sin necesidad de la fuente externa.
- Manejando correctamente los puntos anteriores se logrará una combustión auto sostenida y estable para las condiciones del proceso.

El cumplimiento de estos 3 requerimientos permitirá:

- ✓ Lograr el máximo aprovechamiento del poder calorífico del combustible utilizado.
- ✓ Aportar el calor requerido por el sistema con el menor consumo de combustible y las condiciones operativas técnica y económicamente más adecuadas.

Esta condición de máxima eficiencia, sin embargo, siempre resultará inestable por depender de una serie de variables interdependientes entre sí e influenciadas por factores externos, por lo cual el verdadero nivel de eficiencia del sistema dependerá de la existencia de un sistema de control adecuado y efectivo, orientado a mantener niveles permanentes de eficiencia del proceso.

2.1.2.4. Análisis de gases de la Combustión.

Para determinar la cantidad de exergía, se hace necesario realizar los cálculos correspondientes determinando la calidad, la producción de entropía y otras propiedades termodinámicas.

Estos cálculos serán de gran utilidad para determinar en forma globalizada la cantidad de energía acumulada que llega a la planta.

Para determinar el calor transferido (Q) por el vapor en el cocedor de cereales, calcularemos tanto para el estado 1 y el estado 2; las diferentes variables haciendo uso de las tablas e interpolando. Realizando un balance de energía la ecuación resultante es:

$$Q = m(u_2 - u_1) \dots \dots \dots (1)$$



Donde:

u_2 : *Energía interna específica a la salida del cocedor de cereales.*

u_1 : *Energía interna específica a la entrada del cocedor de cereales.*

2.2. Métodos para calcular la eficiencia de calderas.

Existen dos métodos para calcular su eficiencia, el “método Directo” y el “método Indirecto o de pérdidas”.

Método Directo.

En el método directo, la eficiencia de una caldera se define como la relación entre la energía aprovechada en la transformación del agua vapor, y la energía suministrada por el combustible. Se expresa normalmente en forma de porcentaje:

$$\text{Eficiencia de la Caldera} = \frac{\text{Calor que sale con el vapor producido}}{\text{Calor suministrado por el combustible}} \times 100$$

Método Indirecto

En el método indirecto o de pérdidas, la eficiencia se calcula restándole a 100 el valor de las pérdidas de calor; también se expresa como un porcentaje:

$$\text{Eficiencia de la Caldera} = (100 - \text{pérdidas}) \%$$

Dentro de las pérdidas se consideran:

- Pérdidas de calor sensible en gases de combustión.
- Pérdidas por combustión no quemado
- Pérdidas por radiación
- Pérdidas de calor en purgas y otros



El calor que sale con el vapor producido y el calor suministrado por el combustible se verán más detalladamente en los párrafos siguientes. ⁽¹³⁾

2.3. Conceptos Importantes.

Calor que sale (Exportado) con el vapor.

Este valor se calcula mediante el uso de las “tablas de vapor”, para esto se necesita conocer:

- La temperatura del agua de alimentación
- La presión a la cual se está produciendo el vapor
- El flujo de vapor.

Calor suministrado por el combustible

Se calcula en base a la cantidad de combustible suministrado (m) y su poder calorífico (PC)

$$Q \text{ suministrado} = m \times PC$$

Poder calorífico.

Este valor puede expresarse como poder calorífico “bruto” o “neto”

- Poder calorífico bruto (PVB)

Es la cantidad total de energía contenida en el combustible, sin embargo, la mayoría de los combustibles contienen hidrogeno, que durante el proceso de combustión se mezcla con el oxígeno del aire para formar agua, la cual pasa a la chimenea en forma de vapor.

- Poder calorífico neto (PCN)

Es la cantidad de calor que se produce en la combustión, con expulsión del calor no recuperable, equivale al calor del proceso de combustión que se aprovecha en la práctica. Para el carbón (sólidos) y los combustibles líquidos



es un 5% menor que el PCB, para las diversas modalidades de gas natural y procesados es del 10%, mientras que en la electricidad no hay diferencia alguna entre PCB y PCN.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO NETO
Carbón térmico	19,405 MJ/t
Gasolinas y naftas	4,872 MJ/bl
Coque de petróleo	30,675 MJ/t
Gas licuado	3,765 MJ/bl
Diésel	5,426 MJ/bl
Combustóleo	6,019 MJ/bl
Gas natural	33,913 kJ/m ³
Bagazo de caña	7,055 MJ/t

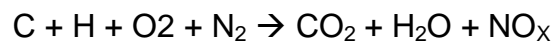
Fuente: CONAE (2012)

2.4. Proceso de combustión

2.4.1. Reacción Básica:

Durante el proceso de la combustión, se producen muchas transformaciones y reacciones químicas, dependiendo de la composición del tipo de combustible utilizado y de las condiciones en que se realice la combustión. Básicamente, cuando se quema un hidrocarburo, el hidrogeno contenido en este se combina con el oxígeno del aire para producir agua, el carbón se combina con el oxígeno del aire para formar bióxido de carbono y, además, se libera energía en forma de calor.

Combustible Aire Calor/Combustión Productos





En donde:

C = Carbón

H = Hidrogeno

O = Oxigeno

N = Nitrógeno

Para obtener una buena eficiencia de la caldera, es necesario controlar, con bastante precisión, la cantidad de aire que se suministra al proceso de combustión:

- Demasiado aire reducirá la temperatura del hogar y arrastrara una buena parte del calor útil.
- Poco aire producirá una combustión incompleta, se escapara por la chimenea mucho combustible sin quemar y se producir humo.

Sin embargo, en la práctica, existe un buen número de obstáculos para obtener una combustión completa (estequiometria):

- Las condiciones es que opera el quemador no son perfectas y es imposible a s e g u r a r la mezcla de las moléculas de carbón, hidrogeno y oxígeno.
- Algunas de las moléculas de oxigeno se combinaran con moléculas de nitrógeno para formar óxidos de nitrógeno (NO_x)

Para asegurar una combustión completa, se necesita suministrar una cantidad extra de aire o “exceso de aire”. Esto tiene su efecto sobre la eficiencia de la caldera,

En la mayoría de las instalaciones con calderas pequeñas, el control de la relación aire/combustible se lleva a cabo mediante una serie de levas y varillas que deben de calibrarse para obtener la cantidad de aire necesaria para un régimen de carga determinado.



Como son elementos mecánicos, sufrirán desajustes y desgaste, por lo que deben ser recalibrados y darles mantenimiento periódicamente.

En instalaciones con calderas más grandes y modernas, los sistemas de control cuentan con sensores (electrónicos) de oxígeno en los gases de combustión para regular el suministro de aire.

El control preciso de la combustión se ve afectado adversamente por las entradas de aire (infiltración) en la cámara de combustión. ⁽¹⁴⁾

2.5. Protección del ambiente.

Los países firmantes del protocolo de Kyoto, acordaron tomar acciones individualmente para:

- Reducir la emisión de gases nocivos a la atmosfera. No obstante que el dióxido de carbono (CO₂) es el menos potente de los gases considerados por el acuerdo, es por mucho el más común y equivale al 80% del total de las emisiones que deben ser reducidas.
- Disminuir la cantidad anual de combustible utilizado. Esto se podrá lograr mediante el uso de fuentes alternas de energía, no contaminantes, o usando los mismos combustibles pero más eficientemente.

2.6. Tecnología.

Las leyes de protección al medio ambiente, la búsqueda de equipos más económicos y de operación más eficiente por parte de los usuarios, así como los dispositivos de control electrónicos más precisos, han derivado en un mejor diseño y operación de las cámaras de combustión de las calderas y sus quemadores.

Las calderas modernas, equipadas con mejores quemadores, pueden tener:

- Recirculación de gases de combustión para asegurar que esta alcance su nivel óptimo y con la mínima cantidad de exceso de aire.
- Controles electrónicos sofisticados, que pueden monitorear los componentes de los gases de combustión y realizar los ajustes en los flujos de combustible y aire, para mantener las condiciones de operación dentro de los parámetros especificados.



- Capacidad de mantener la eficiencia y los parámetros de emisión sobre un rango amplio de operación.

2.7. Pérdidas de calor.

Además de los problemas que se tienen en el quemador, el hogar y los derivados de la relación aire/combustible para obtener una combustión completa y eficiente, existen otras fuentes de pérdidas de calor y eficiencia. La evaluación de estas se utiliza para determinar la eficiencia de la caldera en el método indirecto o de pérdidas.

2.8. Pérdidas de calor en gases de combustión

Esta es probablemente la fuente de pérdida de calor más importante y, por lo mismo, los ingenieros de la empresa deben reducirla al máximo posible. Las pérdidas se producen debido a la temperatura y volumen de los gases que salen por la chimenea: a mayor temperatura de los gases, menor es la eficiencia de la caldera.

Los gases pueden estar demasiado calientes por una de dos razones:

1. El quemador está produciendo, más calor que el que se requiere para la carga específica de la caldera.
 - Esto indica que el quemador (es) y el mecanismo de la compuerta de aire requieren mantenimiento y recalibración.
2. Las superficies de calefacción de la caldera no están funcionando correctamente y el calor no se está transfiriendo al agua.
 - Esto significa que las superficies de calefacción están sucios o con incrustaciones y necesitan limpieza.

Se debe tener cuidado al reducir la temperatura de los gases de combustión, ya que demasiado enfriamiento puede reducir la temperatura de los gases por abajo del “punto de rocío”, lo que aumenta la posibilidad de corrosión por la formación de:



- Ácido nítrico (del nitrógeno del aire utilizado para la combustión).
- Ácido sulfúrico (si el combustible contiene azufre)
- Agua

2.9. Perdidas por Radiación.

Debido a que la caldera (su envolvente) está más caliente que el medio ambiente donde se encuentra, una parte de su calor se transfiere a su alrededor. Un aislamiento dañado o mal instalado aumentara considerablemente el potencial de perdida de calor por radiación.

Una caldera, de tubos de humo o de agua, de 5 MW, razonablemente bien aislada, tendrá una perdida por radiación de 0.3 a 0.5% de su energía.

En las calderas de menor potencia, el porcentaje de perdida por radiación puede variar desde 1.3% para una caldera de 600 CC hasta 3.0% para una caldera de 50 CC.

Quizá no parezca una cantidad considerable, pero estos porcentajes corresponden a plena carga y está perdida permanecerá constante, incluso si la caldera no está enviando vapor a proceso y se mantiene simplemente es “stand by”.

Lo anterior también indica que, para operar más eficientemente, la caldera debe trabajar cerca a su máxima capacidad; a su vez, esto requiere un buena coordinación entre la casa de máquinas y el departamento de producción.

2.10. Perdidas en Purgas.

El objetivo de esta operación es la extracción de solidos disueltos y en suspensión dentro de la caldera, ya que al vaporizarse el agua, la concentración de solidos aumenta en el agua que queda, lo cual conduce a problemas de incrustación importantes ya que, entre otros efectos negativos, reducen significativamente la tasa de transferencia de calor del combustible al agua, reduciendo con ello la eficiencia de la caldera. ⁽¹⁵⁾



La purga se realiza extrayendo agua de la parte inferior de la caldera, donde se encuentran más concentrados los sólidos disueltos y en suspensión e introduciendo agua de alimentación con una concentración muy baja.

Hay que buscar el nivel adecuado de purga que se le debe dar a la caldera, una purga insuficiente no impide la formación de fangos, incrustaciones y arrastres mientras que una purga excesiva producirá pérdidas de calor elevadas.

Eficiencia Típica de Calderas tipo paquete con base en el poder calorífico superior

	Capacidad kW	Eficiencia η (%)	Combustible
Calderas tubos de humo	100-200	76	Gas natural o L. P.
	100-200	80	Combustóleo, gasóleo, diésel.
	200-8 000	76	Gas natural o L. P.
	200-8 000	80	Combustóleo, gasóleo, diésel.
Calderas tubos de agua	100-200	74	Gas natural o L. P.
	100-200	78	Combustóleo, gasóleo, diésel.
	200-8 000	76	Gas natural o L. P.
	200-8 000	80	Combustóleo, gasóleo, diésel.

Fuente: Conae

2.11. Quemadores.

Los quemadores son los dispositivos responsables de:

- Mezclar adecuadamente el combustible y el aire en las proporciones correctas, para obtener una combustión completa.
- Determinar la forma y dirección de la flama.

Rango del quemador.

Una característica muy importante de los quemadores es su rango de operación. Esto se expresa como la relación entre su máxima capacidad (para quemar combustible), dividida entre su mínima capacidad controlable.

El rango de operación no es simplemente el hecho de forzar diferentes cantidades de combustible dentro del hogar de la caldera, sino que es muy importante desde una perspectiva económica y ambiental que el quemador realice una combustión



Adecuada y eficiente, además de cumplir las regulaciones ambientales dentro de todo su rango de operación.

Tipos de Quemadores:

- Quemadores de presión tipo “Jet”
- Quemador de copa rotativa
- Quemadores de gas

2.12. Seguridad.

Debido a que los combustibles almacenan una gran cantidad de energía, pueden encenderse fácil y rápidamente; por ello es esencial que:

- Se observen rigurosamente todos los procedimientos de seguridad y que los mismos estén por escrito y siempre a la mano.
- Los dispositivos de seguridad se mantengan en buen estado y listos para entrar en operación en cualquier momento



Capítulo 3:

ANÁLISIS EXERGETICO



3. CAPÍTULO III: ANALISIS EXERGETICO.

3.1. CONCEPTO DE EXERGIA.

La Exergía, por definición, es el máximo trabajo teórico que puede obtenerse de su interacción mutua hasta alcanzar el equilibrio.

La definición de Exergía no estará completa, sin embargo, hasta que definamos el ambiente y mostremos como pueden determinarse los valores numéricos de esta propiedad. Ambas tareas íntimamente relacionadas ya que el valor numérico de la Exergía depende tanto del estado del sistema cerrado de nuestro interés como de la definición del ambiente.

3.2. OBJETIVO DE LA EXERGIA

El objetivo de un análisis exergético, es localizar e identificar las causas de la destrucción y/o la pérdida de la Exergía así como cuantificar su magnitud. En este estudio, se observa que los datos obtenidos indican que no se pierde energía en la línea, a pesar del tiempo instalado de las líneas que alimentan a cada planta.

3.3. RELACION EXERGIA Y AMBIENTE

Resulta importante distinguir entre el ambiente y el entorno o alrededores del sistema. El termino entorno se utiliza en este caso para referirse a todo aquello no incluido en el sistema. Vale decir que el entorno está determinado por el lugar donde se instala las líneas y equipos.

Para cada caso, cuando se realiza un proceso los equipos están instalados en un ambiente cerrado lo que impide que haya transferencia de calor del ambiente hacia los equipo y línea de conducción de energía, por lo que la exergía tiene una pérdida mínima en cantidad en valor absoluto.



El termino ambiente se aplica a alguna porción del entorno en la cual las propiedades intensivas de cada una de sus fases.

El ambiente se define como libre de irreversibilidades. Todas las irreversibilidades significativas estarán localizadas en el interior del sistema o en su entorno inmediato. Las irreversibilidades internas son aquellos que se producen dentro del sistema. Las irreversibilidades externas se producen en un entorno inmediato.

3.4. ESTADO MUERTO

Si el estado de una cantidad fija de materia, un sistema cerrado, es diferente al del ambiente, existirá la posibilidad de producir trabajo. Sin embargo, según vaya el sistema evolucionando hacia el equilibrio con el ambiente, dicha posibilidad disminuirá, pareciendo por completo cuando alcance el equilibrio uno con el otro. A este estado particular del sistema se le denomina estado muerto. En el estado muerto tanto el sistema cerrado como el ambiente poseen energía, pero el valor de su energía es cero ya que no existe la posibilidad que se produzca un cambio espontaneo en el sistema cerrado o en el ambiente, y por tanto no puede existir interacción entre ellos.

a. CALCULO DE LA EXERGIA

La Exergía es una medida de la separación entre el estado de un sistema cerrado y el estado del ambiente. Es, por tanto, una característica del conjunto formado por el sistema cerrado y el ambiente. Es decir que la exergía de un sistema cerrado en un estado dado esta dada por la expresión:

$$A = (E - U_0) + p_0 (V - V_0) - T_0 (S - S_0)$$

La exergía es el máximo trabajo teórico que puede realizar el sistema combinado cuando el sistema cerrado evoluciona hasta su estado muerto.

Por definición, la propiedad extensiva exergía, A, es este valor máximo.



La exergía por lo general no se conserva sino que se destruye a causa de las irreversibilidades.

Puede concluirse por tanto que la exergía es una propiedad de los sistemas cerrados.

Aunque la exergía es una propiedad extensiva, a menudo resulta conveniente trabajar con sus valores específicos por unidad de masa o por mol. La exergía específica por unidad de masa, viene dada por:

$$a = (e - u_0) + p_0 (v - v_0) - T_0 (s - s_0)$$

Donde e , v y s , son la energía, volumen y entropía específica. Para un estado u_0 , v_0 y s_0 , son esas mismas propiedades específicas evaluadas para el estado muerto.

Cuando un sistema está en su estado muerto, se encontrara en equilibrio térmico y mecánicamente con el ambiente, y el valor de su exergía será cero. Podemos decir más precisamente que la componente termodinámica de la exergía es nula.

3.5. Formas de energía en la Salida del Caldero.

La energía que sale del caldero, que fluye por la tubería y llega a las plantas que operan de forma individual, lo hacen a una temperatura elevada. El agua es convertida en vapor saturado, y en esta condición con presión y temperatura podemos tomar, las otras variables termodinámicas basadas en tablas y en diagramas tal como el diagrama de Mollier. Siendo estas variables Entalpías, entropías y volumen específico.

3.6. Balance Energético en el Caldero.

Base de cálculo 1 Kg de agua

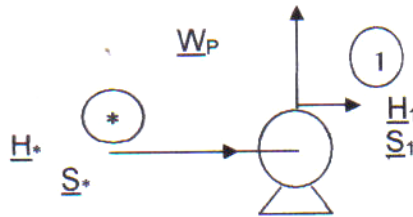
El trabajo requerido por la bomba para aumentar la presión del agua de 1 atm a 3 atm es:

$$W_{bomba} = - \int_{p_1}^{p_2} V dp$$

Como V es constante para el agua líquida, entonces la integral se reduce a

$$W_{bomba} = -V (p_2 - p_1)$$

Balance energético en torno a la bomba:

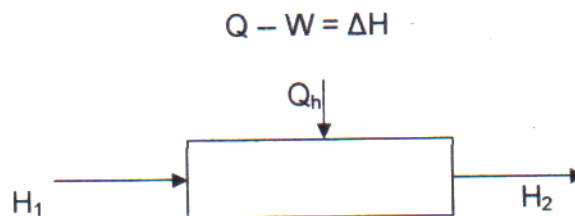


$$W_p = \Delta H = H_1 - H_*$$

Balance de entropía:

$$\Delta S = 0 = S_1 - S_*$$

Balance en la Caldera:





Balance de Energía: $Q_h = H$

Balance de Entropía: $Q_h = T_h (S_h)$

3.7. Salida de Energía de Trabajo del Caldero.

La disponibilidad de valores numéricos para las propiedades termodinámicas es esencial, ya que una de las primeras aplicaciones de la termodinámica a la ingeniería es la determinación de los valores de las funciones de trayectoria: trabajo y calor, a partir de los cambios en las propiedades que resultan de un cambio de estado.

Realizando el balance de energía en torno a la bomba.

Balance de energía:

$$-W_p = H = H_1 - H^*$$

Balance de Entropía:

$$S = 0 = S_1 - S^*$$

El asterisco indica el estado en el cual debe entrar el fluido a la bomba si es devuelto por esta al estado 1.

3.8. Interpretación de Datos

3.8.1. Calidad de Vapor.

El agua calentada dentro del caldero presenta un equilibrio cuando pasa de un estado 1 a un estado 2; es decir presenta un equilibrio líquido – vapor (ELV). Las relaciones de equilibrio líquido – vapor son necesarias para resolver muchos



problemas de ingeniería. Los datos requeridos pueden ser (y frecuentemente lo son) medido de forma directa la experimentación.

Estas medidas suelen ser difíciles, incluso para sistemas binarios, y llegan a resultar progresivamente tediosas cuando aumenta el número de componentes. Este es el incentivo para aplicar la termodinámica al cálculo de las relaciones de equilibrio de fases.

Es decir la termodinámica no genera datos; proporciona solo el cuadro matemático que permite el máximo aprovechamiento de cualquier dato disponible; por lo tanto forma la base para la correlación sistemática, la extensión, la generalización, la evaluación y la interpretación de datos.

En consecuencia, la calidad puede expresarse como:

$$CALIDAD = X = \frac{m_{vapor}}{m_{total}} = \frac{m_g}{m_g + m_f}$$

Es decir, para hallar cualquier otra propiedad específica de la mezcla líquido-vapor, como u y h se necesita conocer las proporciones vapor y de líquido en la mezcla vapor – líquido saturados, para lograrlo se define la calidad (X).

Así, tenemos que el subíndice g en la ecuación anterior e aplica al estado de vapor saturado (Temperatura Alta); mientras que el subíndice f señala el estado líquido saturado (Temperatura Baja). ⁽¹⁶⁾



RESULTADOS Y DISCUSION



RESULTADOS.

DATOS REALES DEL CALDERO:

Caldero

Fabricante	:	Metal Empresa S.A.
Año de construcción	:	1976.
Potencia	:	40 BHP.
Superficie total	:	1,380 lb/hr.
Pmáx	:	150 psi.

Quemador

Fabricante	:	Ray Burner CO.
Tipo	:	PDSF.
Modelo J-Single stage (sundstrand)		
UL-830L.		
Size	:	2
Capacidad	:	1.0-2.5 x 10 ⁶ Btu.
Combustible	:	Diésel 2.

Lectura de datos de operación.

En la sala del cocedor de cereales, las variables medibles de operación son:

$$P = 6.12 \text{ atm}$$

$$T = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Datos que llegan a la planta. Las variables de operación

$$M_T : \text{Masa total} = 90 \text{ lbs.} = 40\,823.28 \text{ g}$$

$$P_{\text{sat}}: \text{Presión a la entrada del cocedor de cereales} = 90 \text{ psi} = 6.2 \text{ bar}$$

$$T_{\text{sat}} = 160.11 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



Datos Reales del Caldero

Los datos fueron obtenidos en el transcurso de una corrida de la planta de cerveza, durante 8 horas respectivamente.

Datos Experimentales.

Los datos fueron tomados en planta, en horas operadas.

Planta de cerveza:

Presión de vapor que llega a equipo:.....	: 2 atm.
Temperatura de operación inicial.....	: 110°C
Entalpia.....	: A buscar
Entropía	: A buscar
Volumen específico.....	: A buscar

Datos experimentales de alimentación de agua al caldero:

Se tiene una alimentación de agua de 24Lt x hora.

Datos del combustible utilizado:

Tipo de combustible	: Diésel
Suministro de arranque	: 8 gal
Suministro total	: 28 gal / 8hr



Calculo de calor del vapor producido que sale del Caldero:

Se calcula mediante las tablas de vapor:

$$P_{\text{sat.}} = 6.2 \text{ bar}$$

$$T^{\circ} \text{ vapor en la línea} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Alimentación de agua} = 24 \text{ Lt x hora}$$

Según tabla de vapor:

$$U_2 = 793.4 \text{ KJ/KG} \quad U_1 = 674.8 \text{ KJ/KG}$$

$$Q = m (U_2 - U_1)$$

$$Q = 24 \text{ Kg} (793.4 - 674.8) \text{ KJ/kg}$$

$$Q = \underline{2846,4 \text{ KJ}}$$

Calculo del calor que proporciona el combustible:

Tipo de Combustible: Diésel

$$PC: 5,426 \text{ MJ/bl}$$

$$Q = mCP \quad \text{Donde:}$$

m= Cantidad de suministro de combustible

CP = Poder Calorífico del Diésel

$$Q_2 = mCP$$

$$Q_2 = 28 \text{ gal} \times 5,426 \text{ MJ/bl}$$

$$Q_2 = (28 \text{ gal} \times 5426 \text{ KJ}) / 42 \text{ gal}$$

$$Q_2 = \underline{3617,33 \text{ KJ}}$$

Por lo tanto podemos calcular la eficiencia del caldero, a partir de la siguiente formula:

$$E = \frac{\text{Calor que sale con el vapor producido} \times 100}{\text{Calor suministrado por el combustible}}$$

$$E = \frac{2846,4 \times 100}{3617,33 \text{ KJ}}$$

$$E = \underline{78.6\%}$$

Cálculo de la calidad de vapor que llega a la Planta Piloto de Cerveza:

$$V_{\text{CALDERO}} = 4.24 \text{ m}^3$$

Despreciando el 60% del volumen del caldero se tiene:

Datos de entrada al cocedor de cereales (1):



$$V' = 0.4 V_{\text{CALDERO}} = 1.696 \text{ m}^3 = 1.696 \times 10^6 \text{ cm}^3$$

$$M_T: \text{Masa total} = 90 \text{ lbs} = 40,823.28 \text{ g}$$

$$P_{\text{SAT}}: \text{Presión a la entrada del cocedor de cereales} = 90 \text{ psi} = 6.2 \text{ bar}$$

$$T_{\text{SAT}} = 160.11 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_{f_1}: \text{Volumen de líquido saturado} = 1.1029 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$V_{g_1}: \text{Volumen de vapor saturado} = 307.14 \text{ cm}^3/\text{g}$$

BASE DE CÁLCULO: 1.0 Hr.

Cálculo del volumen específico del agua en el caldero (\hat{V})

$$\hat{V} = \frac{V'}{M_T} = \frac{1.696 \times 10^6}{40,823.28} = 41.55 \text{ cm}^3/\text{g}$$

$$X_1 = \frac{\hat{V} - V_{f_1}}{V_{g_1} - V_{f_1}} = \frac{41.55 - 1.1029}{307.14 - 1.1029} = 0.1322 \text{ Calidad}$$

$$\% X_1 = 13.22 \%$$

Cálculo de h_1

h_1 : Entalpía a la entrada del cocedor de cereales.

$$h_1 = h_{f_1} + X_1 h_{fg_1}$$

$$h_{f_1} = 690.292 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg_1} = 2,067.848 \text{ kJ/kg}$$

$$X_1 = 0.1322$$

$$h_1 = 690.292 + 0.1322 \times 2,067.848 = 963.66 \text{ kJ/kg}$$

- Ahora calcularemos la energía interna específica a la entrada del cocedor $u_1: u_1 = u_{f_1} + X_1 u_{fg_1} \dots \dots \dots (III)$

Para calcular u_1 tenemos ($P = 6.2 \text{ bar}$):

$$u_{f_1} = 675.2 \text{ kJ/kg}$$

$$u_{fg_1} = 1893.22 \text{ kJ/kg}$$

$$X_1 = 0.1322$$



Reemplazando datos en Ec. (III)

$$u_1 = 675.2 + 0.1322 \times 1893.22 = 925.48 \text{ kJ/kg.}$$

- Para calcular u_2 , tenemos que calcular X_2 . Donde:

$$X_2 = \frac{h_2 - h_{f_2}}{h_{fg_2}} \dots \dots \dots (II)$$

Pero:

Reemplazando este valor en la Ec. (II) , Se obtiene:

Para P= 2.0265 bar (Calculado por Tablas de Vapor Saturado)

$$h_{f_2} = 506.33 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg_2} = 2,300.82 \text{ kJ/kg}$$

$$X_2 = \frac{h_2 - h_{f_2}}{h_{fg_2}} = \frac{963.66 - 506.33}{2,200.82} = 0.208$$

Ahora calcularemos la energía interna específica a la salida del cocedor de cereales

u_2 :

$$u_2 = u_{f_2} + X_2 u_{fg_2} \dots \dots \dots (IV)$$

- Para calcular u_2 tenemos (P = 2.0265 bar):

$$u_{f_2} = 506.11 \text{ kJ/kg}$$

$$u_{fg_2} = 2023.8 \text{ kJ/kg}$$

$$X_2 = 0.208$$



Reemplazando datos en la Ec. (IV):

$$u_2 = 506.11 + 0.208 \times 2023.8 = 927.06 \text{ kJ/kg}$$

$M_T = 60 \text{ kg}$ (Masa total que ingresa al cocedor de cereales).

- **Cálculo de Q:**

$$Q = m(u_2 - u_1) = 60(927.06 - 925.48) = 94.8 \text{ kJ.}$$

Ahora para calcular $\Delta S = S_2 - S_1$ (V)

- Primero calcularemos s_2 y s_1

$$s_1 = s_{f_1} + X_1 s_{fg_1} \dots \dots \dots (VI)$$

$$s_2 = s_{f_2} + X_2 s_{fg_2} \dots \dots \dots (VII)$$

- Para el cálculo de s_1 tenemos ($P = 6.2 \text{ bar}$):

$$s_{f_1} = 1.9434 \text{ kJ/kg.K}$$

$$s_{fg_1} = 4.8062 \text{ kJ/kg.K}$$

$$X_1 = 0.1322$$

Reemplazando en la Ec. (VI)

$$s_1 = 1.9434 + 0.1322 \times 4.8062 = 2.5788 \text{ kJ/kg.K}$$

Para s_2 tenemos ($P = 2.0265 \text{ bar}$):

$$s_{f_2} = 1.5401 \text{ kJ/kg.K}$$

$$s_{fg_2} = 5.5831 \text{ kJ/kg.K}$$

$$X_2 = 0.208$$

$$s_2 = 1.5401 + 0.208 \times 5.5831 = 2.7014 \text{ kJ/kg.K}$$

Entonces:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 2.7014 - 2.5788 = 0.1226 \text{ kJ/kg.K}$$



Cálculo de la producción de entropía:

$$G_{\text{PRODUCCIÓN}} = M_T \times \Delta S = 60 \times 0.1226 \text{ kJ/kg.K} = 7.356 \text{ kJ/K}$$

Se muestran en el cuadro, datos calculados a partir de la temperatura tomada de tablas de vapor, comparados con los datos teóricos.

Variables Encontradas

Presión en la sala de cocedor de cereales	<i>P</i>	6.12 atm
Temperatura en la sala de cocedor de cereales	<i>T</i>	160 °C
Masa total	<i>M_T</i>	90 lbs. = 40 823.28 g
Presión de saturación a la entrada del cocedor de cereales	<i>P_{sat}</i>	90 psi = 6.205 bar
Temperatura de Saturación	<i>T_{sat}</i>	160.11 °C
Presión de vapor que llega al equipo en la planta de cerveza	<i>P_{vapor}</i>	2 atm
Temperatura de operación inicial en la planta de cerveza		110 °C
Presión de vapor que llega al equipo de la planta de alcohol		2 atm
Temperatura de operación inicial en la planta de alcohol		80 °C
Volumen del liquido saturado en la planta de cerveza	<i>V_{f1}</i>	1.1029 cm²/g
Volumen de vapor saturado en la planta de cerveza	<i>V_{g1}</i>	307.14 cm³/g
Volumen especifico en el caldero	<i>V</i>	41.55 cm³/g
Calidad de vapor que llega a la planta de cerveza	<i>X₁</i>	0.1322 = 13.22%
Entalpia a la entrada del cocedor de cereales	<i>h₁</i>	963.66 Kj/kg



Energía interna específica a la entrada del cocedor	u_1	925.48 Kj/kg
Calidad de vapor a la salida de la planta	X_2	0.208 = 20.8 %
Energía interna específica a la salida	u_2	927.06 kj/kg
Calor total	Q	94.8 kj
Entropía inicial	S1	2.5788 kj/kg. K
Entropía a la salida	S2	2.7014 kj/kg.K
Variación de la entropía	Δs	0.1226 kj/kg. K
Producción de la entropía	G producción	7.356 kj/k

DISCUSION.

Cuadro Comparativo de variables (Datos teóricos y prácticos)

Características de Vapor de Agua P = 90 Psi (6.2 bar) ; T = 160 °C		
Volumen de líquido saturado (V_{f1}) - cm^3/g		
Valor Teórico	1.793	
Valor Practico	1.1029	
Entalpia (V) - Kj/Kg		
Valor Teórico	2082	Valor Teórico de Entalpia en el rango de temperatura y presión saturada.
Valor Practico	963.66	Se manifiesta una disminución de entalpia al pase de volumen de control hacia el cocedor de cereales.
Entropía (S) Kj/Kg.°K		
Valor Teórico	4.8066	Valor Teórico de Entropía en el rango de temperatura y presión saturada.
Valor Practico	2.5788	El valor de entropía en proceso, se manifiesta con el vapor saturado que se logra obtener por medio en el bunker del caldero.
Energía Interna (U) KJ/Kg		
Valor Teórico	1893	Valor Teórico de Energía Interna en el rango de temperatura y presión saturada.
Valor Practico	925.48	La energía interna del caldero se mantiene constante, de acuerdo al poder calorífico del combustible.
Calidad (X) %		
Valor Teórico	60	Valor real de calidad de vapor según variables de operación.
Valor Practico	13.22	Valor inferior a la teórica, debido a factores como la falta del tratamiento de agua, como partes en deterioro.
Eficiencia energética del caldero (η) %		
Valor Teórico	80	Es el valor del caldero según especificaciones de año de fabricación.
Valor Practico	78.6	Se presentan perdidas de calor, debido que no hay una combustión completa.



Interpretación de Datos

De acuerdo a los cálculos realizados, podemos establecer que los valores hallados como se indican no son cercanos a los datos teóricos. Esto significa que hay pérdida de energía interna al fluir el vapor y se pierde en la línea y va al entorno. Los datos obtenidos en los cálculos realizados para obtener vapor, son datos enteramente prácticos. Es decir se tomó en cuenta los mismos, para obtener datos reales experimentales y contrastar con los bibliográficos.

Así mismo se evidenció que la calidad de vapor que proporciona el caldero es relativamente bajo, debido a factores externos, tales como: partes del equipo deteriorados o corroídos, pérdidas de calor, mala combustión en el quemador y el más importante mal tratamiento de agua de alimentación.



CONCLUSIONES



CONCLUSIONES.

- El presente trabajo de investigación, condujo a los tesisistas a realizar cálculos con datos experimentales reales y partir del cual, calcular otras variables termodinámicas específicas tales como la energía interna (U), entalpía (H) y entropía (S).
- Se trabajó con una temperatura de 160 °C, presión de saturación de 6.2 bar; las mismas que se calcularon mediante las tablas de vapor, y a partir del cual se calculó otras variables termodinámicas.
- Se calculó el valor del calor de vapor producido que sale del caldero, obteniendo el valor de **2846.4 Kj.**, de igual manera se calculó el calor que proporciona el combustible, obteniendo el valor de **3617.33 Kj.**
- A partir de los valores encontrados del calor de vapor producido que sale del caldero y el calor que proporciona el combustible, se procedió a calcular la eficiencia energética del caldero (η), obteniendo el valor de **78.6%**.
- Para el cálculo de la calidad de vapor que llega a la planta piloto, se consideró el volumen del caldero de **4.24 m³** (del cual solo se considera el 40% para el cálculo, 1.696 m³), la masa total que es de **40 823.28 g**, una presión de saturación de **6.2 bar**, la temperatura de saturación de 160.11 °C, el volumen de líquido saturado que es de **1.1029 cm³/g** y el volumen de vapor saturado de **307.14 cm³/g**, a partir de los cuales se calculó el volumen específico del agua en el caldero obteniendo el valor de **41.55 cm³/g**. con los valores obtenidos, recién se procedió a calcular la calidad de vapor que llega a la planta piloto (X_1), resultando el valor de **13.22 %**.
- De acuerdo a los valores indicados en las tablas y los valores calculados, se procedió a calcular la entalpía a la entrada del cocedor de cereales (H), obteniéndose el valor de **963.66 Kj/Kg**, posteriormente se procedió a calcular la energía interna específica en la entrada del cocedor (μ_1), obteniéndose el valor de 925.48 Kj/Kg; y la energía interna específica a la salida del cocedor (μ_2),



resultado el valor de **927.06 Kj/Kg**. A partir de los valores encontrados de las energías internas específicas a la salida y entrada del cocedor, y considerando la masa total que ingresa al cocedor de cereales, 60 Kg, se procedió a calcular el valor del calor total (**Q**) resultando el valor de **94.8 Kj**.

- Para calcular el valor de la variación de la entropía (**ΔS**), se procedió a calcular la **S_1** , resultando el valor de **2.5788 kJ/kg.K**, y para la **S_2** se obtuvo el valor de **2.7014 kJ/kg.K**, a partir de los cuales se obtuvo el valor de la variación de la entropía, de **0.1226 kJ/kg.K**.
- Con el valor de la variación de la entropía y con la masa total, se obtuvo el valor de la producción de entropía, resultando el valor de **7.356 Kj/K**.
- De acuerdo a los cálculos realizados, podemos establecer que los valores hallados como se indican no son cercanos a los datos teóricos. Esto significa que hay pérdida de energía interna al fluir el vapor y se pierde en la línea y va al entorno. Los datos obtenidos en los cálculos realizados para obtener vapor, son datos enteramente prácticos.
- Se calibra los instrumentos de superficie de control, con los manuales de estándar de fabricación del caldero, con el apoyo del operador de planta, así mismo dichos instrumentos necesitan un mantenimiento preventivo.
- Por otro lado se pudo apreciar que el caldero que se está usando en las plantas pilotos no debe estar parado por mucho tiempo, si esto es así, se presenta riesgo de corrosión.



RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES.

- Ante la pérdida de energía que se presenta en la línea de conducción de vapor, se recomienda aislamiento y de esta manera cumplir con la teoría de alcanzar el equilibrio o sea el estado muerto.
- Para futuras operaciones con el caldero, calibrar los controles de superficie de manera efectiva. Tales como: Termómetro y Manómetro.
- Se recomienda que el caldero debe de recibir un mantenimiento una vez al año, debido a que su uso no es permanente.
- Sustituir los tubos dentro del hogar del caldero, debido que se encuentra corroídos.
- Instalar dispositivos de ingreso de aire, para mejorar la combustión en el quemador.
- Se recomienda tratar químicamente el agua para el caldero para evitar corrosión, que pueden impedir la transferencia de calor debidamente.
- Usar el combustible filtrado, y que de esta manera evitar incrustaciones en la línea del hogar del caldero, y de esta manera generar vapor saturado.
- Usar agua precalentada para rellenar el agua del caldero y evitar una caída de presión abrupta.
- Se recomienda el monitoreo de gases de la chimenea del caldero, para tener un control periódico y adecuarnos a la normativa ambiental vigente.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1) PEÑALBA GALAN, JORDI. Modelado y Simulación de una Caldera Convencional. Portugal: Escuela Técnica Superior de Ingeniería; 2004
- 2) CONSEJERIA DE ECONOMIA Y HACIENDA, DIRECCION GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGIA Y MINAS. Guía Básica: Calderas Industriales Eficientes. Madrid, España: Gráficas Arias Montano S. A.; 2012.
- 3) UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR, FACULTAD DE INGENIERIA. Termodinamica de Equipos Industriales: eficiencia energética de una caldera. Guatemala. 2009.
- 4) COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. Eficiencia en calderas y combustión. México D.F. 2007
- 5) QUIÑONES, N.; ADUM, V.; PINDO, J. Desarrollo De Un Software Para El Análisis Y Diseño Térmico De Calderas Pirotubulares Horizontales Con Quemadores A Diésel Y Bumker. Guayaquil, Ecuador: Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL); 2001.
- 6) VALVERDE GONZALES FÉLIX ISAÍ. Tesis Estudio Técnico - Económico Para La Instalación De Una Planta De Envasado De Néctares A Partir De Frutos Nativos. Iquitos, Perú: UNAP; 2009
- 7) PIÑEIRO E.; FONSECA R.; RUIZ J. Diseño, Construcción E Instalación De Un Reactor Para Depurar Aceites Vegetales Usados Para Ser Reutilizados En Calderas Y Hornos. Iquitos, Perú: UNAP; 2013.
- 8) BALZHISER RICHARD. Termodinámica Química para Ingenieros. Nueva Jersey: Prentice/Hall Internacional; 1973.
- 9) BURGHARDT DAVID M. Ingeniería Termodinámica. 2° Edición. Nueva York, E.U.A.: Harper – Row. 1986.



- 10) HOLLAND CHARLES. Fundamentos y Modelos de Procesos de Separación. Englewood Cliffs, Nueva Jersey: Editorial Prentice/Hall Internacional; 1963.
- 11) DÍAZ BRAVO PABLO. Transferencia de Calor. 3° Ed. Lima, Perú: Editorial América; 2000.
- 12) DÍAZ DE LOS RÍOS M. Simulación Dinámica De Tanques Reactores. México: McGraw-Hill; 1988, 103p.
- 13) HIMMELBLAU DAVID M. Principios Y Básicos De La Ingeniería Química. México: Editorial Continental. 1999.
- 14) KENNETH WARK. Termodinámica. 6ª Edición. España: Edit. McGraw- Hill; 2000
- 15) OGUNYE, A. F. y Ray, W. H., Transferencia de Calor. España: Editorial Reverte. S.A.; 2000
- 16) SMITH, J, Introducción a la Termodinámica a la Ingeniería Química. 5ta edición. México: Edit. McGraw-Hill.; 1998.



ANEXOS



MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL ANTEPROYECTO				
PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODO
<u>Principal</u>	<u>General</u>	<u>Independiente (X)</u>	- Cálculos de otras variables Termodinámicas. como la eficiencia, calidad Determinar la eficiencia del caldero.	Tipo de investigación: Experimental- Descriptivo Universo: Se tomara medidas de <u>P y T en la línea antes de llegar al cocedor de cereal de la planta de cerveza.</u>
¿Es necesario evaluar la eficiencia energética del caldero de las plantas pilotos de la UNAP, para estandarizar datos de variables termodinámicas?	Evaluar la eficiencia del caldero para estandarizar datos experimentales de variable termodinámica para su uso en las plantas Pilotos de la FIQ-UNAP.	Presión y temperatura.		
<u>Secundario</u>		Caldero: fuente de energía.		Instrumento: Técnicas de análisis de Información. Word, Excel , procesamiento de datos.
¿Es posible automatizar la planta piloto de alcohol y de cerveza?	<u>Específico</u> - Calibrar instrumentos. - Medir variables termodinámicas. - Evaluar datos experimentales para su estandarización.			



Anexo 2.0

TRATAMIENTO EXTERNO DEL AGUA PARA CALDERO

La presión y diseño de una caldera determina la calidad de agua requerida para generar vapor

El análisis es necesario para poder determinar las necesidades de tratamiento.

MÉTODOS

MECÁNICOS Eliminación de turbidez y sedimentos	}	DECANTACION	Los sólidos en suspensión más o menos gruesos o con densidades superiores al agua, pueden ser eliminados por decantación en pozas.	
		COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	En casos que la decantación no resulte suficiente, como cuando se requiere eliminar turbidez, se recurre a agentes coagulantes y floculantes, tales como $FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$, aluminato de sodio.	
		FILTRACION	Los precipitados de la coagulación y floculación se separan por Filtración.	
QUÍMICO	}	ABLANDAMIENTO	PROCESO EN FRIO CON CaO , $Ca(OH)_2$	Proceso empleado para reducir la dureza del agua mediante empleo de $Ca(OH)_2$, disminuyendo la dureza de 15 – 30 p.p.m. Este proceso se emplea para el tratamiento del agua con dureza mayor 150 p.p.m
			PROCESO CAL- SO_4 EN CALIENTE $100^\circ C$	La efectividad del proceso se incrementa, se reduce la dureza de 5 – 15 p.p.m
		CAMBIO DE FASE	Puede reducir la dureza a cero. Cuando la dureza llega a un máximo de 5 p.p.m debe generarse.	
		USO DE ZEOLITA		
		ELIMINACIÓN DE ALCALINIDAD ELIMINACIÓN DE SILICE		
Dósmíng - relación	}	INTERCAMBIO IÓNICO. RESINAS CATIONICAS Y RESINAS ANIONICAS.	Las resinas catiónicas fijan las cationes y las resinas aniónicas los aniones.	
		TERMICOS		
}	DECASIFICACIÓN	Eliminación de CO_2 , se efectúan a baja presión y haciendo circular a través del agua.		
	DEAREACION	Eliminación de O_2 , se efectúa calentado el agua o haciendo vacío.		

TRATAMIENTO INTERNO

Control de incrustación

- Programa de coagulación
- Programa de fosfato
- Programa de quelatos
- Programa de fosfato coordinado.

Control de depósitos

Control de arrastre

Control de corrosión

CALDERA PIROTUBULAR
P menor de 440 Psi

CALDERA ACUATUBULAR
Para P mayor de 440 Psi

Anexo 3.0 Equipo dosificador de agua

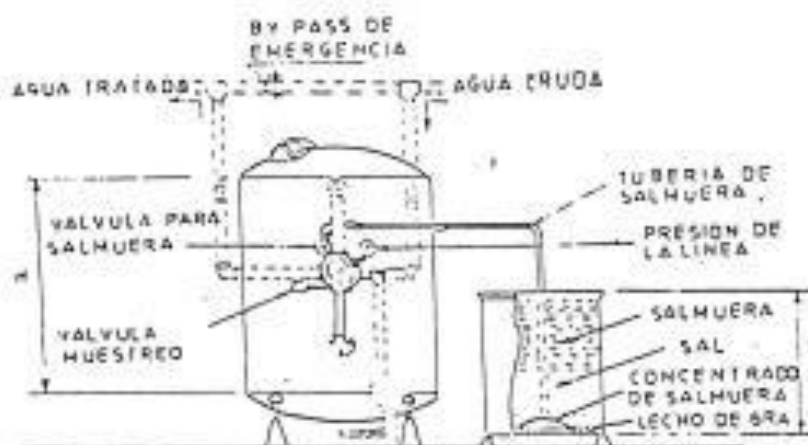


Fig Suavizador Simplex

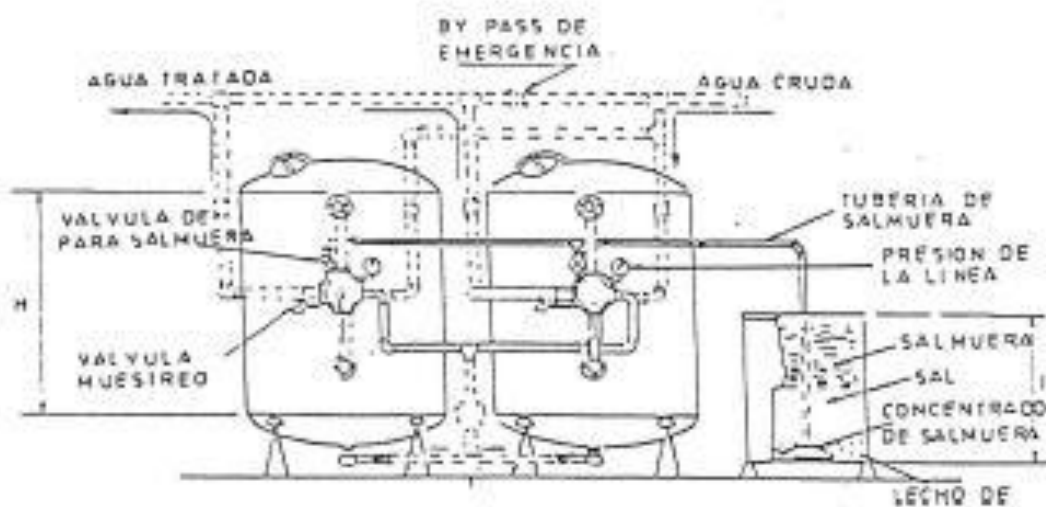


Fig Suavizador Duplex



Anexo 3.1

LIMITES EN QUE DEBE MANTENERSE EL AGUA PARA CALDEROS

	Máximo	Mínimo
<i>DUREZA</i>	0,5 CPG	0,0 GPG
<i>FOSFATO</i>	60,0 GPG	40,0 GPG
<i>ALCALIMIDAD P</i>	20,0 GPG	10,0 GPG
<i>ALCALIMIDAD M</i>	30,0 GPG	15,0 GPG
<i>CLORUROS</i>	15,0 GPG	5,0 GPG
<i>SULFITOS</i>	60,0 GPG	30,0 GPG
<i>P.H</i>	11,0	10,0

Anexo 4.0

GASES DISUELTOS EN EL AGUA

Ciertos gases, principales el oxígeno (O_2) y el bióxido de carbono (CO_2) disueltos en el agua, aceleran sus propiedades corrosivas. La velocidad de corrosión se encuentra aproximadamente en porciones a la cantidad de gas disuelto. Adicionalmente, las temperaturas altas aceleran la velocidad de ataque. Estas velocidades son influidas también por los cambio en el PH del agua, el cual puede ayudar en la formación de películas protectoras sobre las superficies metálicas o destruir dichas películas, exponiendo, por lo tanto, la superficie a un ataque corrosivo.

El agua disuelve oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, y otros gases de la atmosfera directamente, hasta el asunto de saturación a una presión y temperatura específica la solución de aire en agua ocurre de acuerdo con las leyes de los gases de Henry y de Dalton.



Es decir, que la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas e inversamente proporcional a la temperatura.

El problema de remover oxígeno, pero se considera similar al remover nitrógeno, es considerablemente más complejo y difícil. el bióxido de carbono puede existir en tres formas en el agua, o sea, como ácido carbónico (H_2CO_3), carbonato normal y bicarbonato.

El ácido carbónico es descompuesto rápidamente a bióxido de carbono y agua ($H_2CO_3 - H_2CO_2$), de esta forma, puede ser fácilmente expulsado al aumentar la temperatura del agua. Los carbonatos y bicarbonatos no son fácilmente disociados por el calor, así mismo la disociación depende FH por esta razón el bióxido de carbono no puede ser reducido a un nivel tan bajo como el oxígeno, cuando el agua pasa a través de un desareador.

REMOCION DE GASES

La remoción de gases del agua se efectúa por tratamiento mecánico y térmico, por la adición de productos químicos o por la combinación de estos procesos. El método más ampliamente consiste en calentar el agua en calentadores ya sea abierto o de contacto o en los tipos de calentadores más eficiente conocido como DESAREADORES.

Todos los calentadores de aquí para alimentación, ya sean de tipo simple abierto o desareadores, se distinguen por la manera en que el valor y el agua circulan a través de las unidades, los tres diseños usados son:

- a) Contra corriente completa
- b) Contracorriente a flujo cruzado
- c) Flujo paralelo

CALENTADORES ABIERTOS

Al elevarse la temperatura del agua a temperaturas cercana a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, el oxígeno en solución se reduce a menos de 0,3 ml/litro a efectuar el calentamiento del agua ya sea circulando el agua hacia abajo sobre placas contenidas en un cuerpo cilíndrico de acero o calentador.

O por aspersion del agua dentro del vapor a presiones bajas o intermedias.



Como la Solubilidad del oxígeno y otros gases contenidos el agua se reduce grandemente bajo calentamiento, los gases son expulsados y descargados a la atmósfera.

DESAERADORES

Son similares a los calentadores abiertos, pero están diseñados para asegurar una remoción completa del oxígeno y una reducción a valores muy bajos del bióxido de carbono y otros gases contenidos el agua de alimentación la mayor eficiencia de tales unidades se obtienen suministrado suficiente área en los platos o introduciendo los denominados rellenos k aumentaren área de contacto gas-liquido, como es el caso de los desareadores garantizados para producir agua con un contenido menor de 0,005 ml/L

INFLUENCIA EN EL PROCESO Y EN LA EFICIENCIA.

Un mal funcionamiento los desareadores, trae como consecuencia el paso de una mayor proporción de gases en el agua de, alimentación a la caldera. La mayor concentración de oxígeno de carbono producirá:

- a) Mayor ataque corrosivo en tubos, placas y cuerpo de la caldera
- b) Generación d oxido k genera depósitos y obstrucción de tuberías de diámetro reducido instrumentos y otros accesorios.
- c) Mayor consumo de aditivos químicos en el tratamiento interno a fin de limitar el ataque del oxígeno y CO₂.
- d) El mayor consumo de aditivos tales como sulfitos, aumenta el contenido de sólidos totales y por consiguiente se aumenta la consiguiente se la frecuencia de purgas.
- e) El aumentar la frecuencia de purgas, aumenta la perdida de energía.
- f) Al aumentar el contenido .de solidó totales al incrementar la humedad del vapor por todo ello se explica la importancia del buen funcionamiento del desareador.



Anexo 5. GLOSARIO TERMODINAMICO

LIQUIDO COMPRIMIDO.- El calor se transfiere al agua hasta que su temperatura aumenta a medida que aumenta la presión.

LIQUIDO SATURADO.- Cuando la temperatura está más elevada

VAPOR SATURADO.- Vapor en contacto con el líquido que lo produce y cuya tensión depende solo de la temperatura.

VAPOR NO SOBRECALENTADO.- Cuando no se encuentra en contacto con el líquido que lo origino.

VAPOR SOBRECALENTADO.- Cuando el sistema se encuentra a una temperatura mayor que la temperatura de saturación.

TEMPERATURA DE SATURACION.- Designa la temperatura a la que el cambio de fase tiene lugar para una presión determinada.

CALOR LATENTE.- Es aquel que se consume o libera en los cambios de estado, sin cambio en la temperatura.

ZONA HUMEDA.- Es la región bifásica entre las líneas de líquido saturado y la línea de vapor saturado.

CALIDAD.- Se define como la fracción de masa de vapor sobre la masa total del sistema.

VOLUMEN ESPECIFICO.- Es una propiedad intensiva se define como la relación del volumen entre la masa total.

ENTALPIA ESPECIFICA.- Se define como con secuencia de la primera ley de la termodinámica, como la suma de la energía interna y la energía de flujo.

LINEA TRIPLE.- Es cuando los estados sólido, líquido y gaseoso del agua se pueden visualizar.

