



Ingeniería Electromecánica

Cuarto año

Diseño Curricular: 2004 - Ordenanza N°1029

MÁQUINAS TÉRMICAS

Apunte para estudiantes

El presente documento fue elaborado por un grupo de estudiantes con el objetivo de crear un apunte completo y conciso de la materia *Máquinas Térmicas*.

El documento abarca los puntos más destacados de la materia *Máquinas Térmicas*, incluyendo sus conceptos principales, teorías, enfoques y aplicaciones prácticas. También hemos incorporado ejemplos ilustrativos y claros para ayudar a la comprensión de los temas abordados.

Esperamos que este resumen sea de gran utilidad para aquellos que buscan una visión general de la materia *Máquinas Térmicas* o que necesitan una revisión rápida de los conceptos clave antes de un examen.

Estudiantes: *Faulkner, Melani;*
Franzoi, Valentín;
Guardiani, Franco;
Polo, Daiana.

Introducción general

Unidad 1

Visión General

1.1 Conceptos básicos	1.3.1 Turbinas de vapor
1.1.1 Energía	1.3.2 Turbinas de gas
1.1.2 Máquina	1.3.3 Turbocompresores
1.2 Clasificación de las máquinas de los fluidos	1.3.4 Motoras
1.2.1 Máquinas Hidráulicas	1.3.5 Generadoras
1.2.2 Máquinas Térmicas	1.4 Ecuaciones de Euler
1.3 Aplicaciones de las Máquinas Térmicas	1.5 Principio de desplazamiento positivo

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1.1 Energía

La energía es una característica de la materia y puede transformarse o transferirse. Existen en la naturaleza de distintas maneras. Así por ejemplo denominamos energía hidráulica (potencial gravitatoria) a la obtenida de dos niveles de agua; energía eólica (cinética) a la energía obtenida por la acción de los vientos; energía química a la obtenida por combustionar un combustible industrial; y, energía nuclear a la liberada por fisión o fusión de los combustibles nucleares. Utilizando cualesquiera de ellas podemos obtener, a través de una máquina, energía eléctrica.

1.1.2 Máquina

Técnicamente se denomina máquina a todo dispositivo capaz de transformar y/o transferir energía.

Las máquinas de fluidos utilizan *fluidos de trabajo* para generar energía y se clasifican en dos grandes grupos: *máquinas hidráulicas*, como las turbinas hidráulicas que transforman la energía cinética del agua en energía mecánica de rotación; y en *máquinas térmicas*, como las turbinas de vapor, donde el funcionamiento es similar a una turbina hidráulica exceptuando el cambio de propiedades que sufre el líquido de trabajo durante el transcurso.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS DE LOS FLUIDOS ---

1.2.1 Máquinas Hidráulicas

Una máquina hidráulica utiliza como fluido de trabajo a los fluidos incompresibles o aquellos que se comporten como tal debido a que en el interior del sistema no sufren variaciones significativas en sus propiedades.

1.2.2 Máquinas Térmicas

Es un dispositivo que transforma energía pero su fluido de trabajo cambia sus propiedades durante la operación de la máquina.

Se clasifican en dos:

- Turbomáquinas.
- De desplazamiento positivo.

En las *turbomáquinas* la sustancia de trabajo es impulsada a través de un rotor provisto de palas y cuyo principio de funcionamiento se basa en las ecuaciones de Euler.

1.3 APLICACIONES DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS ---

1.3.1 Turbinas de vapor

1.3.2 Turbinas de gas

1.3.3 Turbocompresores

1.3.4 Motoras

1.3.5 Generadoras

1.4 ECUACIONES DE EULER ---

1.5 PRINCIPIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO ---

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Combustibles para calderas

Unidad 2

Visión General

2.1 Combustibles	2.3 Poder calorífico
2.2 Combustión	2.3.1 Poder Calorífico Superior
2.2.1 Tipos de combustión	2.3.2 Poder Calorífico Inferior
2.2.2 Cálculo de aire mínimo o teórico . .	

2.1 COMBUSTIBLES

Pregunta de examen

¿Qué es un combustible?

Un combustible es cualquier sustancia que, por un proceso químico de oxidación exotérmica¹ o por un proceso físico de fisión o fusión, suministra energía en forma de calor.

Aquellas sustancias que cumplen con el primer proceso, se las denomina **combustibles industriales**. Liberan energía en forma de calor sin generar gases nocivos para el ser humano. Esta distinción es importante, considerando que existen materiales que al quemarse producen gases tóxicos y corrosivos, como el azufre.

Por otro lado, el combustible que cumple con el segundo proceso es denominado como **combustible nuclear**. La combustión de estas sustancias liberan partículas radiactivas perjudiciales para la salud, lo cual implica que su uso debe llevarse a cabo en condiciones estrictas de aislamiento.

¹La palabra “exotérmica” se refiere a una reacción que libera energía térmica hacia el entorno.

2.2 COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción química de oxidación exotérmica donde la *energía liberada* se da en forma de *calor*. El agente oxidante o comburente en dicha reacción es el oxígeno del aire.

A altas temperaturas el combustible reacciona con el aire para generar luz y gases de combustión:



El combustible puede ser sólido, líquido o gaseoso, y los gases de combustión transportarán la energía en forma de calor.

Al ser el proceso de combustión muy complejo y con vista en aplicaciones prácticas, el estudio que se realiza en la materia *Máquinas Térmicas* considera factores estáticos, es decir, la determinación de los estados finales e iniciales del proceso de combustión. Los resultados obtenidos a través de esta simplificación son suficientes para resolver los problemas.

2.2.1 Tipos de combustión

A continuación se muestran los tipos de combustión que pueden tener lugar en la reacción química.

- **Combustión completa:** tiene lugar cuando *todo* el combustible se quema en presencia de suficiente oxígeno.
- **Combustión perfecta:** ocurre en condiciones ideales, es decir, en un entorno *libre de impurezas* y con una cantidad ilimitada de oxígeno disponible.
- **Combustión incompleta:** ocurre cuando un combustible se quema en presencia de una cantidad insuficiente de oxígeno, es decir, no todos los átomos del combustible se combinan con oxígeno para formar dióxido de carbono y agua, por lo que *producen subproductos* adicionales, como monóxido de carbono, alquitrán y otros hidrocarburos.
- **Combustión imperfecta:** se refiere a una combustión incompleta que ocurre cuando un combustible se quema en presencia de una cantidad limitada de oxígeno.

La principal diferencia entre la combustión completa y perfecta es que la última se produce bajo condiciones ideales y no produce subproductos, mientras que la combustión completa simplemente implica que todo el combustible se quema en presencia de suficiente oxígeno, sin tener en cuenta las impurezas y otros factores que pueden afectar la reacción.

Y la principal diferencia entre la combustión incompleta e imperfecta es la cantidad de oxígeno presente en la reacción. Además, la combustión incompleta es más peligrosa que la combustión imperfecta debido a la mayor cantidad de subproductos tóxicos que produce.

2.2.2 Cálculo de aire mínimo o teórico

2.3 PODER CALORÍFICO ---

El poder calorífico es la cantidad de energía liberada como calor en un proceso de combustión.

Se debe utilizar aquel combustible con mayor poder calorífico, aunque en la práctica no ocurre debido a la disponibilidad del combustible y su costo. También, otra limitación es cuando se tiene en cuenta la contaminación que pudiera llegar a producir a causa del humo de combustión.

2.3.1 Poder Calorífico Superior

2.3.2 Poder Calorífico Inferior

Combustión para la generación de vapor

Unidad 3

Visión General

3.1 Definición de combustión	3.3 Comburente y Combustible
	3.3.1 Comburente
3.2 Temperatura de ignición	3.3.2 Combustible

3.1 DEFINICIÓN DE COMBUSTIÓN

La combustión es una reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

3.2 TEMPERATURA DE IGNICIÓN

La temperatura de autoignición o de inflamación es la temperatura mínima a la que un combustible a presión atmosférica estándar, en presencia de oxígeno (aire), puede encenderse y quemarse sin necesitar una fuente externa de calor. Es importante mencionar que esta temperatura puede variar dependiendo del tipo de combustible, ya que diferentes sustancias tienen diferentes puntos de autoignición.

3.3 COMBURENTE Y COMBUSTIBLE

3.3.1 Comburente

Un *comburente* es una sustancia que proporciona el oxígeno necesario para que ocurra la combustión. Actúa como el agente oxidante en una reacción de combustión al suministrar el oxígeno necesario para que los combustibles ardan.

Para cálculos estequiométrico en la materia de *Máquinas Térmicas* consideramos al aire (aire técnico) compuesto por un 79 % de nitrógeno (N) y un 21 % de oxígeno (O_2)

3.3.2 Combustible

El *combustible* es una sustancia que tiene la capacidad de arder o quemarse. Durante la combustión, el combustible reacciona con un comburente (como el oxígeno) liberando energía en forma de calor, luz u otros productos de reacción. Los combustibles pueden ser sólidos (como la madera o el carbón), líquidos (como la gasolina o el petróleo) o gaseosos (como el gas natural).

Generadores de vapor

Unidad 4

Visión General

4.1 Generalidades	4.2.2 Accesorios de una caldera
4.2 Calderas	4.2.3 Zonas de una caldera
4.2.1 Clasificación	4.2.4 Partes de una caldera

4.1 GENERALIDADES

IRAM-IAP-N°25/5 - “*Generadores de vapor y calderas de agua caliente*” define como *generador de vapor* al conjunto constituido por la caldera de vapor con alguno o todos de los siguientes aparatos intercambiadores de calor:

- **Sobrecalentador:** se utiliza en las calderas para aumentar la temperatura del vapor generado por encima de su punto de saturación. Esto se logra al transferir calor adicional al vapor después de que ha sido generado en la caldera. El sobrecalentador ayuda a mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema al proporcionar vapor seco y sobrecalentado.
- **Desobrecalentador:** se utiliza para reducir la temperatura del vapor sobrecalentado. Su función principal es enfriar el vapor y asegurarse de que no exceda los límites de temperatura deseados antes de entrar en ciertos componentes o procesos posteriores.
- **Recalentador:** se utiliza para aumentar la temperatura del vapor. Sin embargo, a diferencia del sobrecalentador, coloca en una ubicación específica dentro del ciclo de vapor para volver a calentar el vapor después de que ha pasado por una etapa de expansión. Esto ayuda a aumentar la eficiencia térmica del sistema.
- **Economizador:** se utiliza para aprovechar el calor residual de los gases de escape de la caldera y transferirlo al agua de alimentación de la caldera. Al precalentar el agua de alimentación antes de entrar en la caldera, se logra un ahorro de energía al reducir la cantidad de calor requerido para generar vapor.
- **Calentador de aire:** se utiliza para calentar el aire que se suministra a un proceso o sistema. El aire frío que ingresa al calentador de aire se calienta al hacerlo pasar a través de tubos o conductos donde se transfiere calor desde una fuente de calor, como el vapor o los gases de

escape. El aire caliente resultante se utiliza en diversas aplicaciones industriales o comerciales que requieren aire caliente.

4.2 CALDERAS

La caldera, frente a los demás dispositivos, es el elemento principal e indispensable de un generador de vapor ya que los otros pueden no existir. La instalación o no de el resto de intercambiadores de vapor influirá en la calidad de vapor que se desee obtener y la conveniencia de aprovechar la energía calorífica que aún contienen los gases de combustión luego de su paso por la caldera.

4.2.1 Clasificación

En general, y a efectos de la materia *Máquinas Térmicas* las calderas se clasifican según cómo circula el agua y el humo por las mismas. De esta manera, se distinguen dos tipos: calderas humotubulares o piro-tubulares, y calderas acuotubulares.

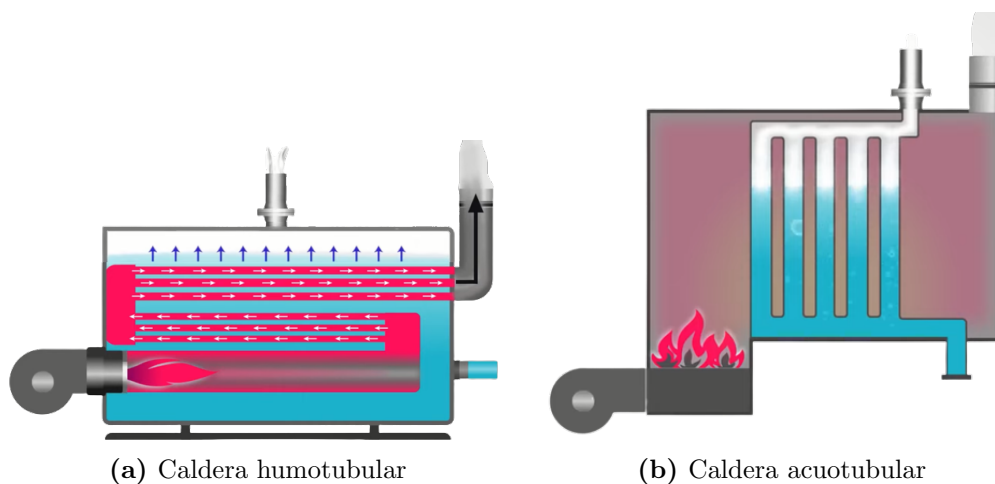


Figura 4.1: Tipos de calderas

Calderas humotubulares

Las calderas humotubulares (figura 4.1a) son aquellas en la cual **los gases de combustión o humos circulan por el interior de tubos** que se encuentran sumergidos en el agua de la caldera (agua a vaporizar). Se definen en las normas como aquellas que cuentan con un “cuerpo de la caldera”, el cual es una envolvente cilíndrica cerrada donde se produce la circulación del agua y se mantiene su nivel en el caso de calderas de vapor, o donde se produce el calentamiento del agua en el caso de calderas de agua caliente. Dentro de este “cuerpo”, se disponen haces de tubos con diámetros relativamente pequeños por los cuales circulan los gases de combustión o humos.

Este tipo de calderas ofrece una **distribución más uniforme del calor en la masa de agua**, lo que resulta en una generación de vapor y un rendimiento más uniforme en comparación con las calderas acuotubulares. Además, su puesta en marcha es más rápida. Su posición puede ser horizontal, con hogar exterior, o vertical, con hogar interior.

En la actualidad son más utilizadas las calderas humotubulares de hogar interior, quemando un combustible industrial líquido o gaseoso permitiendo una producción de vapor de hasta $15 \frac{tn}{h}$. Las humotubulares verticales se utilizan para bajas producciones de vapor y presiones de hasta $15 \frac{kg}{cm^2}$.

Calderas acuotubulares

En las calderas acuotubulares (figura 4.1b) **el agua y el vapor producido circulan por el interior de los tubos** cuya superficie exterior está en contacto con los gases calientes de la combustión.

Los elementos básicos son el *domo* y el *haz de tubos*. El domo es un cuerpo cilíndrico mayor hacia el cual convergen los tubos de la caldera y sirven como colector de vapor y/o agua. Están montados normalmente en la parte superior de la caldera. El haz de tubos lo constituyen el conjunto de tubos por donde circula el agua por convección y se disponen por debajo del domo.

En las calderas antiguas, muchas de ellas todavía en uso, el haz de tubos está unido a un colector denominado *placa de tubos*, el cual sirve de sostén a los tubos en sus extremos en las calderas. Esta placa forma parte del cabezal que se une al domo.

Los tubos están montados con una cierta inclinación hacia la parte posterior de la caldera para que el agua caliente y el vapor que se van generando circulen hacia adelante, y además permite el depósito de los “barros” en el colector de lodos montado en la parte inferior.

La necesidad de una gran producción de vapor, principalmente para la generación de energía eléctrica, sin aumentar proporcionalmente las dimensiones del generador, provocó un gran desarrollo de los mismos, llevando a la construcción de calderas con más de un domo y haces de tubos de pequeños diámetros, cuya disposición en el conjunto depende del fabricante. El utilizar tubos de pequeños diámetros es a efectos de aumentar la superficie de intercambio calórico.

Debido a que se puede producir un deterioro, las paredes refractarias del hogar se cubren tubos por cuyo interior circula agua. Las mismas, además de su carácter protector aumentan la superficie de intercambio de la caldera, y consecuentemente un mejor aprovechamiento del calor de radiación.

Las calderas acuotubulares pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- a) **De tubos rectos:** los mismos pueden estar montados en posición vertical u horizontal, y en algunos casos con pequeña desviación para favorecer la circulación del agua líquida y acumulación de los lodos.

Entre las ventajas se encuentran:

- Al ser los tubos de igual diámetro, el stock para futuros cambios es reducido.
- La limpieza interior de los tubos es sencilla.

- El cambio de un tubo no exige mover otros.
- Su diseño puede realizarse para poca altura.

Como desventajas se tiene:

- Dificultad en la construcción de los cabezales colectores.
- Gran número de agujeros a realizar en la placa de tubos.
- La limpieza de tubos exige retirar gran cantidad de elementos de cierre.
- La dilatación de los tubos

- b) **De tubos curvados:** este tipo de calderas pueden tener hasta cinco domos, siendo las más comunes la de dos domos. La superficie de intercambio de calor de mayor magnitud lo forman la superficie de los tubos que vinculan entre sí a los domos. Los tubos se encuentran dispuestos en dos o más haces, separados por pantallas horizontales y/o verticales, o una combinación de ambas para una mejor circulación de los gases de combustión.

Entre las ventajas, se pueden mencionar las siguientes:

- Elasticidad para el diseño.
- La curvatura permite la dilatación de los tubos sin afectar su unión al domo.
- Existe una mejor circulación del agua y gases, lo que permite mayor producción de vapor.

Como desventajas, tenemos:

- Al contar con distintos tipos de tubos (diámetro, largo, etc), se debe tener un stock bastante amplio.
- La limpieza interior del tubo se dificulta principalmente en las curvas.
- El reemplazo de tubos exige, en algunos casos, el retiro de otros.
-

4.2.2 Accesorios de una caldera

Los accesorios de una caldera son reglamentarios y tienen por finalidad que la cantidad de agua en el interior de la caldera sea la conveniente y que la presión interna debido al vapor generado no sobrepase el límite establecido (presión de timbre).

- a) **Nivel de agua:** se colocan indicadores de nivel de agua visuales y sonoros. El indicador visual es más preciso ya que el nivel de agua se observa a simple vista. El sonoro funciona generalmente por acción de un flotador, que al bajar el nivel del agua regulado deja escapar vapor que produce un sonido característico.
- b) **Sobrepresión:** los accesorios que evitan que la presión de vapor no sobrepase la de trabajo fijada son dos válvulas de seguridad (a contrapeso y a resorte) y un manómetro de cuadrante con números de suficiente dimensión para ser observados sin dificultad.

Las válvulas permiten la liberación de vapor en casos de sobrepresión, mientras que el manómetro indica el valor de dicha presión.

4.2.3 Zonas de una caldera

Zona de liberación de calor

En esta zona, llamado hogar, el calor se transfiere al agua principalmente por radiación. Es una zona crítica desde el punto de vista de resistencia de los materiales.

Zona de tubos

Es la zona donde los gases, productos de la combustión, transfieren calor al agua principalmente por convección a medida que circulan por su circuito.

4.2.4 Partes de una caldera

1. Hogar

El hogar es el espacio dentro de la caldera donde se realiza la combustión del combustible y la liberación de calor, generalmente ubicada en la parte inferior de la caldera. El mismo puede estar situado de dos formas:

- En el interior, donde se encuentra dentro de un recipiente metálico rodeado de paredes refrigeradas con agua.
- En el exterior, donde está construido fuera del recipiente metálico y puede estar parcialmente rodeado o sin paredes refrigeradas.

Se puede clasificar según el tipo de combustible, para sólidos o gaseosos; o el tipo constructivo, de tubo liso o corrugado.

2. Puerta de hogar

Es una pieza metálica robusta con abisagrada que puede tener varias funciones según el tipo de caldera. Si se trata de un combustible sólido, es utilizada para la *carga manual del combustible* y la *inspección de la llama*. Si se quema combustible líquido o gaseoso, esta puerta se reemplaza por un quemador.

3. Emparrillado

Es una estructura metálica de forma enrejada y sirve de apoyo para el combustible sólido depositado en el hogar. Permite el ingreso de aire primario para dar origen a la combustión.

Según su diseño puede ser *parrilla fija*, seca o húmeda; o *parrilla móvil*, como transportadores, reciprocantes o basculantes.

Un buen emparrillado debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Permitir el paso del aire primario.
- Permitir que las cenizas caigan hacia el cenicero.
- Que se limpie con facilidad y rapidez.
- Impedir la acumulación de escoria.

- Ser contruidos con materiales de buena calidad para que no se quemen, deformen y perduren en el tiempo.

4. Cenicero

Es el espacio que queda bajo la parrilla y sirve para recoger las cenizas que caen. Los residuos acumulados deben ser retirados periódicamente para no obstaculizar el paso del aire primario.

La extracción de las cenizas puede ser manual o mecanizada.

5. Puerta del cenicero

De igual características constructivas que la puerta del hogar, esta se utiliza para realizar funciones de limpieza del cenicero. Además, con esta puerta se puede regular la entrada de aire primario si la caldera no tiene tiraje forzado.

6. Altar

Es un pequeño muro de ladrillo refractario, debiendo pasar una altura aproximada de 30 cm, ubicado en el extremo opuesto a la puerta del fogón y al final de la parilla. Las funciones del altar son:

- Impedir que caigan a la parrilla partículas de combustible sin quemar.
- Ofrecer resistencia a la llama y gases para que estos se distribuyan a lo ancho del hogar pudiendo entregar la mayor parte de su energía al agua.
- En algunos casos sirve para ubicar boquillas para el ingreso de aire secundario.

7. Mampostería

La mampostería es la construcción de ladrillos refractarios y comunes que tienen por objetivo *cubrir la caldera* para minimizar las pérdidas de calor, y *guiar los gases* y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación, a veces se construyen paredes con espacios huecos.

En la actualidad, en algunos tipos de calderas se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose aislación térmica con materiales tales como lana de vidrio de alta densidad recubierta con chapas metálicas galvanizadas o inoxidable.

8. Conductos de humo

Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión.

9. Caja de humo

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

10. Chimenea

Es un tubo que puede ser construido de mampostería o de chapa de acero. Se utiliza para conducir los gases de combustión a la atmósfera, además tiene la función de producir un tiraje natural.

11. Reguladores de tiro

Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objetivo regular la cantidad de aire necesario

para la combustión en función de la demanda de vapor, a su vez, ayuda a regular el paso de los gases de combustión a la salida.

12. Cilindro o tambor

El tambor de la caldera está diseñado para almacenar agua y vapor. En las calderas de tipo acuotubular, se encuentra conectado a una serie de tubos en los cuales circulan los gases calientes provenientes de la combustión. Estos tubos se encuentran sumergidos en el agua del tambor, lo que permite transferir el calor de los gases al agua y generar vapor. En el tambor se pueden diferenciar dos zonas principales: la cámara de agua y la cámara de vapor.

La cámara de agua en el tambor de una caldera es un espacio específico dentro del tambor donde se ubica el nivel de agua y se lleva a cabo la separación entre el vapor y el agua líquida.

Tiro y Equipos de Recuperación

Unidad 5

Visión General

5.1 Tiro natural y forzado	5.2 Pérdida de carga
5.1.1 Tiro natural	5.2.1 Carga motriz
5.1.2 Tiro artificial	5.2.2 Carga resistente

5.1 TIRO NATURAL Y ARTIFICIAL

El fenómeno que se conoce como *tiro* permite a una instalación generadora de vapor, que utiliza combustible industrial, la circulación de los gases de combustión a través de los distintos circuitos del sistema, la descarga de estos humos a la atmósfera, y la inyección al hogar del aire necesario para la combustión.

El tiro se puede lograr de forma *natural* o *artificial*.

5.1.1 Tiro natural

El tiro natural es consecuencia de la tendencia que tiene toda masa de gases calientes a ascender con respecto a otras más frías. La aspiración necesaria para que los gases puedan vencer la resistencia (pérdida de carga) que encuentran en su trayecto a través de la instalación con cierta velocidad, y ser expulsado al exterior, lo provoca una **chimenea**.

Para que el fenómeno se lleve a cabo debe existir una **diferencia de densidades** entre los gases calientes en el interior de la chimenea y el aire más frío que la rodea.

La aspiración de los humos representa, de esta manera, el *tiro estático* h_a , cuyo valor se lo puede calcular como:

$$h_a = \Delta P = P_{ext} - P_{int} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Debido a que el valor del tiro natural generalmente es muy pequeño, a este se lo expresa en milímetro de columna de agua (*mm.c.a.*). Entonces, se tiene que:

$$\begin{aligned}H[mm.c.a.] &= H_C g(\rho_{aire} - \rho_{gases}) \\H[mm.c.a.] &= H_C(\gamma_{aire} - \gamma_{gases})\end{aligned}\tag{5.1}$$

donde γ representa el peso específico en $\left[\frac{kgf}{cm^2}\right]$ y $H_C[m]$ la altura vertical de la chimenea.

El inconveniente del tiro natural es que para lograr la suficiente depresión obliga a que la chimenea tenga una gran altura, aproximadamente de 60-70m.

5.1.2 Tiro artificial

Cuando la circulación de los humos se logra por otro medio además de la implementación de una chimenea, se dice que el tiro es artificial. Según las condiciones, el tiro artificial puede ser:

- Forzado, es cuando se inyecta aire al hogar.
- Inducido, cuando los gases de combustión son aspirados lo que provoca una depresión en el hogar.
- Equilibrado, cuando el tiraje es una combinación de los dos casos anteriores y se considera que el hogar está en estado de equilibrio.

En la práctica es conveniente que en el hogar exista una depresión de $3 - 4 \text{ mm.c.a.}$

En cualquiera de los tres sistemas se debe tener presente que la presión en el hogar puede ser positiva, cuando es mayor que la atmosférica; negativa, cuando es menor; y equilibrada, cuando es prácticamente igual a la atmosférica.

Si la presión es positiva puede ocurrir que se produzca un retroceso de llama por las puertas del hogar y eventuales fisuras en la mampostería. Si esto sucede, se dice comúnmente que el hogar “sopla”, disminuyendo su rendimiento. Si es negativa, se produce el efecto contrario, absorbiendo aire en mayor cantidad que la necesaria para la combustión, provocando una disminución en la temperatura de la llama. Por tal motivo, en la práctica se debe arbitrar las medidas necesarias para tender a una presión equilibrada.

5.2 PÉRDIDA DE CARGA

En el sistema de circulación de los humos, que se origina en el hogar y llega hasta la entrada o boca de la chimenea, los gases encuentran diferentes tipos de resistencia que obstaculizan su desplazamiento. El efecto del tiro debe ser suficiente para superar estas resistencias y cumplir con su propósito.

Para determinar estas pérdidas se han desarrollado varios métodos de cálculo que requieren un gran número de operaciones, utilizando factores que si bien pueden ser evaluados, son difíciles de determinar. Además, tienen el inconveniente de que están referidos a sistemas que queman combustibles sólidos. Por tal motivo, actualmente es más común determinar la pérdida de carga en función de *balances de energía*.

Para llevar a cabo este procedimiento, se hace uso del principio de Bernoulli considerando tres puntos claves: (1) el punto inicial del sistema, el hogar, donde se generan los humos; (2) el punto de entrada de la chimenea; y (3) el punto de salida de la chimenea. Se obtienen así las siguientes dos ecuaciones:

5.2.1 Carga motriz

5.2.2 Carga resistente