**CAPITULO 1**

1. **LA ENERGÍA**
   1. **INTRODUCCIÓN**

Hasta principios del siglo XIX, el efecto del calor sobre la temperatura de un cuerpo se explicaba postulando la existencia de una sustancia o forma de materia invisible, denominada calórico. Según la teoría del calórico, un cuerpo de temperatura alta contiene más calórico que otro de temperatura baja; el primero cede parte del calórico al segundo al ponerse en contacto ambos cuerpos, con lo que aumenta la temperatura de dicho cuerpo y disminuye la suya propia. Aunque la teoría del calórico explicaba algunos fenómenos de la transferencia de calor, las pruebas experimentales presentadas por el físico británico Benjamin Thompson en 1798 y por el químico británico Humphry Davy en 1799 sugerían que el calor, igual que el trabajo, corresponde a energía en tránsito. Entre 1840 y 1849, el físico británico James Prescott Joule, en una serie de experimentos muy precisos, demostró de forma concluyente que el calor es una transferencia de energía y que puede causar los mismos cambios en un cuerpo que el trabajo.

El desarrollo de una teoría cinética para la materia fue realizado sobre la base de esas viejas ideas a las que se refería Thompson, con aportaciones sucesivas de científicos tales como Clausius (1822 - 1888), Maxwell (1831 - 1879), Boltzmann (1844 - 1906) y Gibbs (1839 - 1903), y proporcionó una explicación a la noción de temperatura y a otros conceptos claves para la comprensión de los fenómenos caloríficos.

La energía térmica es la forma de energía que interviene en los fenómenos caloríficos. Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto, el caliente comunica energía al frío; el tipo de energía que se cede de un cuerpo a otro como consecuencia de una diferencia de temperaturas es precisamente la energía térmica.

Según el enfoque característico de la teoría cinético-molecular, la energía térmica de un cuerpo es la energía resultante de sumar todas las energías mecánicas asociadas a los movimientos de las diferentes partículas que lo componen. Se trata de una magnitud que no se puede medir en términos absolutos, pero es posible, sin embargo, determinar sus variaciones. La cantidad de energía térmica que un cuerpo pierde o gana en contacto con otro a diferente temperatura recibe el nombre de calor. El calor constituye, por tanto, una medida de la energía térmica puesta en juego en los fenómenos caloríficos.

En el caso de los fenómenos caloríficos la transferencia de energía térmica se produce de un modo semejante, puesto que ésta se cede no del cuerpo que almacena más energía térmica al cuerpo que almacena menos, sino del de mayor al de menor temperatura. La temperatura puede ser asimilada por tanto al nivel de energía térmica, y el calor puede ser comparado con la cantidad de agua que un recipiente cede al otro al comunicarlos entre sí.

* 1. **IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA**

Nuestro entorno está basado económicamente en el suministro eléctrico y está vinculado a la transferencia y transformación de la energía, en la cual sin duda juega un papel clave en la transformación a otras formas previa a su generación y transferencia generalmente a distancias considerables.

Los procesos detallados de la digestión de alimentos es un asunto complicado, pero se realiza una transformación de la energía química localizada en los alimentos a energía térmica para mantener el cuerpo caliente y en energía mecánica para que el cuerpo realice trabajo moviendo las diferentes partes del mismo como un todo. Hay también alguna transformación en energía eléctrica y otros tipos de energía química que permiten establecer comunicación entre las diferentes partes del cuerpo y facilita la función del sistema nervioso. Aquí de nuevo se involucra transferencia y transformación. Todos los procesos biológicos a través del dominio de los seres vivientes pueden ser interpretados en términos del concepto de energía.

Los vientos y los huracanes constituyen otro ejemplo de la transformación de energía térmica comunicada a la atmósfera a través de energía mecánica; los movimientos resultantes son amplificados por la transferencia de energía mecánica de la tierra en rotación.

La energía también juega un papel característico en los terremotos. Cuando una masa de rocas se desliza a lo largo de una falla, la energía potencial es transformada en energía cinética o energía de movimiento, la cual produce cambios en las vecindades. La energía puede llegar a producir graves destrucciones cerca de la superficie y cerca de la fuente. Este fenómeno puede ser detectado a grandes distancias de la fuente por medio de instrumentos sensibles denominados sismógrafos. La propagación por ondas es un ejemplo muy importante de transferencia de energía, lo mismo que la luz y el sonido.

Como un ejemplo de la propagación por ondas es el caso de la energía transferida, que se recibe en cantidades relativamente grandes del sol a través de las ondas emitidas por este cuerpo caliente y luminoso, el cual es responsable por la existencia y mantenimiento de la vida en la tierra.

Cual es el origen de toda esta energía procedente de la superficie solar que entrega energía a una tasa aproximadamente de 4 x 1023 kilovatios. Este ha sido un problema muy interesante para los astrónomos y físicos. Solamente en tiempos recientes se ha encontrado una respuesta plausible a este interrogante. La fuente de energía solar no es una transformación tan simple de la energía química en calor como cuando se quema carbón, ahora se considera que existe una transformación de masa en energía a través de la creación de núcleos de helio a partir de hidrógeno, es un proceso termonuclear, base de la bomba de hidrógeno.

Deberíamos ser más conscientes del papel de la energía en la vida humana y en sus actividades. Ello se podría lograr a través de los medios de comunicación; que informen sobre la velocidad de transformación de la energía lo cual determina la disminución de los recursos energéticos los cuales son finitos. La tecnología moderna está diseñando continuamente equipos y nuevas formas de transferir y transformar la energía para obtener los requerimientos de una sociedad que aspira cada vez más a una mejor y mayor calidad de vida esta forma de transformación de la energía a ritmos muy rápidos a partir de combustibles fósiles y de la construcción de plantas, las cuales no solamente disminuye las reservas de combustibles sino que también interfieren con el ambiente, generando procesos de alteración. El rápido incremento de la población mundial produce mayores requerimientos de energía.

Podría objetarse en la transferencia y transformación de la energía es de importancia vital y que si ello no fuera así se pasaría por muchas dificultades. Pero entonces ¿cuál es el significado real de la energía y de qué manera se mide? Por ejemplo el agua se mide en galones o en litros. Si para los requerimientos domésticos se usa energía eléctrica hay un aparato que mide el número de revoluciones del dial. El aparato es un medidor de vatio-hora.

**1.3 LA ENERGÍA A TRAVÉS DE LA HISTORIA**

Durante la mayor parte de su historia, la Humanidad obtuvo energía de la biomasa, el viento y la fuerza muscular de animales y otros seres humanos. El petróleo también se utiliza desde hace mucho tiempo, pero sólo a partir del siglo XVIII comenzó su explotación masiva como fuente energética, cuando se descubrieron pozos en Estados Unidos. La electricidad, obtenida en gran parte del mundo como producto secundario de otras energías, es en la actualidad uno de los principales recursos que se usan para mantener andando el mundo.

En la actualidad, los hidrocarburos son una de las grandes bases energéticas de nuestra sociedad. Pero son energías no renovables; es decir, una vez que se terminen, no podrán ser repuestas. Por lo tanto, científicos de todo el mundo se han dedicado a investigar la utilización de otros recursos energéticos para seguir "moviendo al mundo". La energía solar y la nuclear, son dos grandes áreas de investigación. Pero también hay otras energías, menos conocidas y, por lo tanto, menos utilizadas. Son conocidas como inagotables, porque existirán siempre que exista nuestro planeta con sus actuales características. Además de la energía mecánica, cinética, potencial, existe energía solar, la geotérmica, la eólica y la oceánica.

**1.3.1 La energía mecánica**

De todas las transformaciones o cambios que sufre la materia, los que más interesan a la mecánica son los asociados a la posición y/o a la velocidad. Ambas magnitudes definen, en el marco de la dinámica de Newton, el estado mecánico de un cuerpo, de modo que este puede cambiar porque cambie su posición o porque cambie su velocidad. La forma de energía asociada a los cambios en el estado mecánica de un cuerpo o de una partícula material recibe el nombre de energía mecánica.

**1.3.2 Energía Potencial:**

La energía potencial, por lo tanto, es la energía que posee un cuerpo o sistema en virtud de su posición o de su configuración (conjunto de posiciones). Así el estado de mecánico de una piedra que se eleva a una altura dada no es el mismo que el que el que tenia a nivel del suelo: ha cambiado su posición. En un muelle que es tensado, las distancias relativas entre sus espiras aumentan. Su configuración ha cambiado por efecto del estiramiento. En uno y otro caso el cuerpo adquiere en el estado final es capaz de romper un vidrio al chocar contra el suelo y el muelle puede poner en movimiento una bola inicialmente en reposo.-

**1.3.3 Energía Cinética:**

La forma de energía asociada a los cambios de velocidad recibe el nombre de energía cinética. Un cuerpo en movimiento es capaz de producir movimiento, esto es, de cambiar la velocidad de otros. La energía cinética es, por lo tanto, la energía mecánica que posee un cuerpo en virtud de su movimiento o velocidad.

**1.3.4 Conservación de la Energía Mecánica:**

Cuando se consideran únicamente transformaciones de tipo mecánico, es decir, cambios de posición y cambios de velocidad, las relaciones entre trabajo y energía se convierten de hecho en ecuaciones de conservación, de modo que si un cuerpo no cede ni toma energía mecánica mediante la realización de trabajo, la suma de la energía cinética y energía potencial habrá de mantenerse constante. Eso es lo que también se deduce de la ecuación. En efecto, sí.-

**1.3.5 Disipación de la Energía Mecánica:**

Salvo en condiciones de espacio vacío (como ocurre en el espacio exterior a la atmósfera terrestre), los cuerpos se mueven en presencia de fuerzas de rozamiento que se oponen al movimiento y que tienden, por lo tanto, a frenarlo. Estas fuerzas se denominan también disipativas porque restan energía cinética a los cuerpos en movimiento y la disipan o desperdician en forma de calor.

El que sobre un cuerpo actúen fuerzas de rozamiento significa, desde el punto de vista de la energía en juego, que se produce una pérdida continua de energía calórica. En tales casos la conservación de la energía mecánica deja de verificarse y con el tiempo toda la energía mecánica inicial termina disipándose.

**1.3.6 Energía Nuclear**

La energía nuclear es aquella que está atrapada al interior de cada átomo de la materia. Hasta el siglo 19, los físicos que estudiaron la materia planteaban que la energía de una partícula estaba determinada por la velocidad que ella tenía. Sin embargo, Albert Einstein planteó que las partículas tenían energía independientemente de la velocidad que llevasen. Esta observación fue el origen de la era nuclear.

Cuando las partículas que forman el núcleo del átomo son separadas por una fuerza externa, se libera gran cantidad de energía, en forma de luz y de calor. Esto se denomina fisión nuclear (fisión viene de fisus: separar, romper). Cuando la liberación de la energía se produce de una sola vez, genera una enorme explosión. Esto es lo que sucede con las bombas atómicas. Pero en una planta de fisión nuclear, los núcleos de los átomos de uranio se separan mediante una reacción en cadena controlada. Ello permite que la liberación de energía se realice lentamente. El principal problema con la fisión nuclear es que libera gran cantidad de radiación, peligrosa para el ser humano. Por ello, los reactores de las plantas nucleares están cubiertos por una espesa capa de concreto.

La fusión nuclear consiste en unir núcleos pequeños para "construir" un núcleo más grande. El Sol utiliza la fusión nuclear de átomos de hidrógeno para formar átomos de helio, lo cual produce calor, luz y otras radiaciones.

Los científicos han realizado diversos experimentos para intentar controlar la fusión nuclear, de modo que la energía liberada pueda aprovecharse. El interés se debe principalmente a que el proceso emite mucha menos radiación dañina para el ser humano. Sin embargo, hasta ahora no se ha logrado producir una fusión controlada, que permita aprovechar la energía. El material más utilizado para generar energía nuclear es el uranio 235.

La energía nuclear tiene diversos usos. En algunos países, se usa en aplicaciones tales como medicina y agricultura. En otros, la energía liberada calienta el agua y la transforma en vapor que mueve turbinas y genera electricidad.

**1.3.7 Biomasa**

Cuando los desechos orgánicos inician el proceso químico de fermentación (pudrimiento), liberan una cantidad de gases llamados biogás. Con tecnologías apropiadas, el biogás se puede transformar en otros tipos de energía, como calor, electricidad o energía mecánica. El biogás también se puede producir en plantas especiales: los residuos orgánicos se mezclan con agua y se depositan en grandes recipientes cerrados llamados digestores, en los que se produce la fermentación por medio de bacterias anaeróbicas.

La biomasa es uno de los primeros recursos energéticos utilizados por el ser humano, y todavía en la actualidad es uno de los más necesarios para una importante cantidad de población mundial. La energía de la biomasa es aquella que se produce a partir de productos vegetales y sus derivados. El concepto abarca principalmente leña, desechos forestales (aserrín, virutas) y agrícolas (residuos de cosechas); también se consideran biomasa los papeles. cartones y similares.

**1.3.8 Energía Geotérmica**

Bajo la corteza terrestre, la capa superior del manto está compuesta por magma, roca líquida a muy altas temperaturas. En algunas zonas, los depósitos o corrientes de agua subterránea son calentados por el magma, hasta temperaturas a veces superiores a los 140 grados Celsius. Cuando el agua, o el vapor, emergen a la superficie a través de fisuras en la corteza, aparecen los géiseres, fumarolas y fuentes termales. En algunos lugares del mundo, como Reykjavik, capital de Islandia, la energía geotérmica se utiliza directamente para temperar edificios, piscinas y otras construcciones. En otros, se utiliza el vapor de agua para mover turbinas y generar electricidad.

**1.3.9 Energía Eólica**

"Eólica" viene de Eolo, dios griego del viento. El viento es energía en movimiento. El ser humano ha utilizado esta energía de diversas maneras a lo largo de su historia: barcos a vela, molinos, extracción de agua de pozos subterráneos. En la actualidad, el viento se usa también para producir electricidad. Al soplar, el viento mueve las aspas de un molino. Esta energía cinética se transforma, mediante un generador, en energía eléctrica. En algunos países, como Dinamarca y Alemania, existen granjas eólicas, en las que cientos de molinos son impulsados por el viento, produciéndose electricidad suficiente para alimentar ciudades completas.

**1.3.10 Energía Oceánica**

Una de las energías menos exploradas, pese a que es una fuente inagotable de energía cinética. Los océanos pueden proveernos de energía mediante tres maneras: el movimiento de las olas, las mareas y la diferencia de temperatura entre las capas del océano. La energía cinética de las olas y de las mareas puede ser utilizada para mover una turbina y generar electricidad. Japón, Francia, Israel y Gran Bretaña son quienes más han avanzado en el estudio de la energía oceánica, diseñando estaciones experimentales.

**1.4 PRODUCCIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA**

La generación de electricidad (corriente alterna) se basa en la ley de Faraday-Lenz. Cuando existe movimiento relativo entre un conductor eléctrico y un campo magnético (imán) se produce una fuerza electromotriz (fem) que hace circular corriente eléctrica por el conductor. Se ha producido así la electricidad.

La energía que encierra la electricidad proviene de unas de las partículas más pequeñas conocidas por la ciencia: los electrones, que poseen una carga eléctrica negativa. Toda la materia está formada por átomos, y los átomos están formados por partículas más pequeñas: protones, neutrones y electrones. Algunos tipos de átomos tienen electrones que están menos "apegados" al núcleo. Esto quiere decir que fácilmente pueden ser movilizados de un átomo a otro. Cuando los electrones se mueven entre los átomos de la materia, se produce una corriente de electricidad. Esto es lo que sucede cuando los electrones (en rojo, en la figura) circulan por un trozo de alambre. Algunos elementos son mejores conductores que otros. Esto se relaciona con la capacidad de los electrones de los átomos de esa materia, de movilizarse de un lugar a otro. A esta capacidad se le llama resistencia de un material. A menor resistencia, mejor conductor de electricidad es el elemento. El cobre es un excelente metal conductor de electricidad, ya que su resistencia es baja. Las pilas y baterías contienen energía química almacenada. Cuando las sustancias químicas del interior de la pila reaccionan unas con otras, producen una carga eléctrica. Esta carga se transforma en energía eléctrica cuando la batería o pila se conecta en un circuito.

La electricidad produce calor. Cuando fluye, la resistencia causa fricción, y la fricción provoca calor. Mientras mayor sea la resistencia de un elemento, más caliente puede ponerse. Ese principio es el que utilizan, por ejemplo, las estufas eléctricas de radiación, los secadores de pelo o los calentadores de agua.

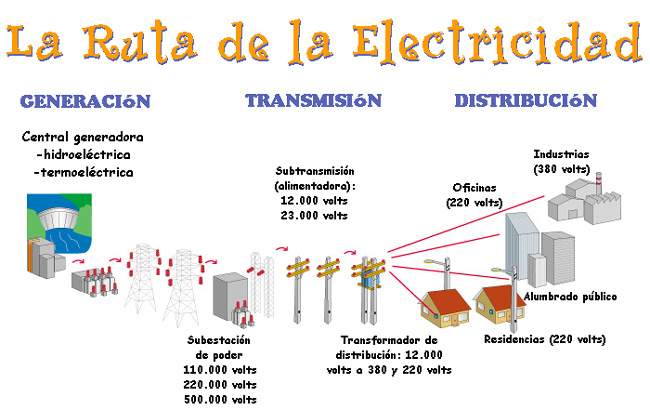
Otro tipo de energía eléctrica es la electricidad estática. Al contrario de la corriente eléctrica, que se mueve, la electricidad estática se mantiene en un lugar y consiste en los átomos que se traspasan de un elemento a otro, sin moverse.

Los rayos y relámpagos de una tormenta también son electricidad estática.

Las nubes se cargan eléctricamente a medida que los cristales de hielo en su interior se frotan unos con otros. Las nubes llegan a estar tan cargadas que los electrones saltan entre la nube y la tierra (rayos), o entre una nube y otra (relámpagos).

La electricidad que nosotros consumimos, y que se transporta a través de una red de cables, se produce básicamente al transformar la energía cinética en energía eléctrica. Para ello, se utilizan turbinas y generadores.

**Gráfico 1.1**



**1.4.1 Descripción de Centrales Eléctricas**

Las centrales descritas a continuación se basan todas en el principio anterior, sólo cambia el "agente externo" capaz de producir el movimiento relativo entre el conductor y el imán.

Fuente: [www.elrincondelvago.com/electrica/datos/generacion](http://www.elrincondelvago.com/electrica/datos/generacion)

**1.4.1 Centrales Termoeléctricas**

Usan el calor para producir electricidad. Calientan una sustancia, que puede ser agua o gas, los cuales al calentarse salen a presión y mueven turbinas y entonces el movimiento se transforma. Para alimentar una central termoeléctrica se pueden usar muchas fuentes energéticas: carbón, petróleo, gas natural, energía solar, geotérmica o nuclear, biomasa:

*Centrales térmicas a vapor*. En este caso, se utiliza agua en un ciclo cerrado (siempre es la misma agua). El agua se calienta en grandes calderas, usando como combustible el carbón, gas, biomasa, etc. La turbina se mueve debido a la presión del vapor de agua, y su energía cinética es transformada en electricidad por un generador.

*Centrales térmicas a gas*. En vez de agua, estas centrales utilizan gas, el cual se calienta utilizando diversos combustibles (gas, petróleo o diesel). El resultado de esta combustión es que gases a altas temperaturas movilizan a la turbina, y su energía cinética es transformada en electricidad.

*Centrales de ciclo combinado*. Utilizan dos turbinas, una a gas y otra a vapor. El gas calentado moviliza a una turbina y luego calienta agua, la que se transforma en vapor y moviliza, a su vez, a una segunda turbina.

En las centrales térmicas, concretamente se llevan a efecto tres grandes transformaciones de energía, la primera consiste en transformar la energía química almacenada en el combustible en energía térmica para producir vapor y esto se lo hace en la caldera, la segunda se realiza convirtiendo la energía térmica del vapor en energía mecánica por medio de la turbina es decir el vapor mueve la turbina y la tercera consiste en transformar la energía mecánica en energía eléctrica mediante el generador eléctrico produciendo la electricidad según la ley de Faraday-Lenz.

**1.4.2 Central Nuclear**

En las centrales nucleares, el combustible es el uranio. El calor generado en la vasija del reactor -físión- produce vapor de agua a presión en un circuito exterior al reactor.

El fundamento es el mismo que en la central térmica.  
En los molinos de viento o aerogeneradores, es el viento (partículas de aire a gran velocidad y alta energía cinética) el agente externo que mueve el alternador.

**1.4.3 Central Solar**

En la central solar es la energía del sol la que hace hervir el agua y generar vapor a presión.  
Otro sistema es mediante el uso las células fotovoltaicas (placas solares a base de silicio) que transforman la energía del sol en corriente eléctrica directamente.

**1.4.4 Central Hidroeléctrica**

En la central hidroeléctrica es la velocidad del agua la que mueve el alternador. La energía potencial del agua se transforma en energía cinética.

**1.4.5 Central Mareomotriz**

En la central mareomotriz, el agente externo es la velocidad del agua del mar. Las subidas y bajadas de las mareas, originan unas corrientes con gran energía cinética capaces de mover los alternadores.

* + 1. **Central de Biomasa**

En las centrales de biomasa, es el vapor de agua producido al quemar la materia orgánica residual derivada de cultivos agrícolas principalmente.

Habiendo mencionado los tipos de centrales generadoras de energía eléctrica, se describirá a continuación como y donde se genera el vapor que es parte importante en la generación térmica de electricidad, porque esta es el tipo de central en la que se basará este estudio. Estas son Calderas, Turbina y Generador.

**1.5 CALDERAS**

Una caldera es un recipiente cerrado en el que se calienta agua, se genera vapor bajo presión o vacío mediante la aplicación de calor generado por combustibles, electricidad o energía nuclear. Por lo general, las calderas se subdividen en cuatro tipos clásicos: residencial, comercial, industrial y de servicios públicos.

Las calderas residenciales producen vapor a baja presión o agua caliente, principalmente para aplicaciones de calefacción en residencias privadas.

Las calderas comerciales producen vapor o agua caliente sobre todo para aplicaciones de aplicación en uso comercial y, en ciertas ocasiones, para operaciones de procesos.

Las calderas industriales producen vapor o agua caliente, ante todo para aplicaciones en procesos y algunas veces para calefacción.

Las calderas de servicios públicos produces vapor que se utiliza principalmente para producir electricidad.

Dentro de estos cuatro tipos generales de calderas surgen algunos tipos específicos que se clasifican de acuerdo con su uso. Un ejemplo podría ser una caldera de recuperación de calor que recupera la energía que por lo general no se emplea y la convierte en calor utilizable. De manera similar, la caldera de lecho fluidifizado es una caldera que emplea un proceso de combustión de lecho fluidifizado. En este tipo de proceso, el combustible se quema en un lecho de partículas granuladas que se mantiene en suspensión mediante un flujo ascendente de aire y productos remanentes de la combustión. Esta tecnología, en uso desde hace 40 años, se adapta como un proceso de combustión instalado dentro de la caldera.

En general las calderas se venden tanto como un paquete o como para instalarse en el sitio de operación. Una caldera en paquete es aquella que se equipa y se envía completa, con el equipo de quemado de combustible, con chimenea de tiro mecánico, controles automáticos y accesorios que, por lo general, se embarcan en una o más secciones principales. Las calderas para instalarse son aquellas que se embarcan de fábrica con tubos, cubiertas, domos, accesorios, etc. Y se ensamblan por completo en el sitio de su instalación.

La definición comúnmente aceptada para capacidad de una caldera es la tasa de rendimiento, que establece el fabricante, para la cual la diseñó para operar durante un periodo. La máxima capacidad continua es la carga máxima en kilogramos de vapor por hora para un periodo específico para la cual se diseñó la caldera.

Las caldera modernas proporcionan la mayor parte de la fuerza motriz en el mundo y, probablemente, sean las piezas mecánicas menos conocidas. Las calderas son tema de ingeniería, de leyes físicas, de legislaciones del congreso, y de reglamentos en dependencias gubernamentales que, entre todas ellas, dan forma a su destino. A pesar de esta atención, esta antigua fuente de energía está todavía envuelta en el misterio.

El objetivo principal de una caldera es generar vapor o agua caliente a presiones y/o temperaturas superiores a las atmosféricas. El vapor se produce mediante transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, se presión y temperatura.

Debido a estas altas presiones y temperaturas se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseños deseados, con un factor de seguridad razonable.

Cuando se diseña una caldera deben tomarse en cuenta muchos factores. Después que se ha decidido que combustible deberá quemarse, es necesario determinar la que cantidad de vapor es necesaria para satisfacer los requerimientos de la caldera. Los parámetros de operación incluyen rangos de carga mínimos, máximos y normales; la duración del ciclo y el tipo de carga, bien sea constante o variable.

**1.5.1 Componentes Básicos de una Caldera**

Los componentes básicos de una caldera son las secciones de convección y el hogar.

En la sección del hogar se consumen los productos de la combustión y se libera calor, el cual se transfiere al agua y, de esta manera, se produce vapor o se calienta el agua. Este espacio debe diseñarse teniendo en cuenta, las tres “T” de la combustión: tiempo, turbulencia y temperatura. Para lograr una combustión completa es necesario que el combustible tenga el tiempo suficiente para que se consuma por completo; deberá existir suficiente turbulencia para obtener una mezcla completa de aire y combustible con el fin de logra un quemado eficiente; y deberá lograrse una temperatura suficientemente elevada para permitir la ignición de lo productos.

La sección de convección de una caldera es aquella porción en que el calor contenido en la combustión de los gases se transfiere al agua para producir el vapor; aquí deben tomarse las medidas adecuadas para permitir que las partículas no quemadas pasen y puedan captarse en los separadores inferiores. La caída de presión y el flujo volumétrico son factores muy importantes para determinar el diseño general de la sección de convección.

**1.5.2 Clasificación de Calderas**

Por sus características las calderas se clasifican generalmente como calderas de tubos de humo (pirotubulares) o de tubos de agua (acuotubulares).

La caldera de vapor pirotubular, concebida especialmente para aprovechamiento de gases de recuperación presenta las siguientes características.

El cuerpo de caldera, está formado por un cuerpo cilíndrico de disposición horizontal, incorpora interiormente un paquete multitubular de transmisión de calor y una cámara superior de formación y acumulación de vapor.

La circulación de gases se realiza desde una cámara frontal dotada de brida de adaptación, hasta la zona posterior donde termina su recorrido en otra cámara de salida de humos.

El acceso al cuerpo lado gases, se realiza mediante puertas atornilladas y abisagradas en la cámara frontal y posterior de entrada y salida de gases, equipadas con bridas de conexión. En cuanto al acceso, al lado agua se efectúa a través de la boca de hombre, situada en la bisectriz superior del cuerpo y con tubuladuras de gran diámetro en la bisectriz inferior y placa posterior para facilitar la limpieza de posible acumulación de lodos.

El conjunto completo, calorífugado y con sus accesorios, se asienta sobre un soporte deslizante y bancada de sólida y firme construcción suministrándose como unidad compacta y dispuesta a entrar en funcionamiento tras realizar las conexiones a instalación

Las calderas acuotubulares (el agua está dentro de los tubos) eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura. A cualquier temperatura, por baja que esta sea, se puede vaporizar agua, con tal que se disminuya convenientemente la presión a que se encuentre sometido dicho líquido, y también a cualquier presión puede ser vaporizada el agua, con tal que se aumente convenientemente su temperatura. se presentan en una gran variedad de diseños y configuraciones. En este tipo de unidad, los productos de la combustión que rodean los bancos de tubos y el agua circula por el interior de dichos tubos, los cuales tienen una inclinación vertical hacia un recipiente o colector de vapor localizado en el punto más alto de la caldera. Por lo general el tipo de caldera se describe por la configuración de estos tubos.

**1.5.3 Ciclo Térmico de Calderas**

En el ciclo térmico como puede observarse en esta simple figura, se producen las distintas transformaciones y transferencia de la energía. El proceso químico de la combustión en la caldera produce energía, parte de la cual es cedida al agua que esta circulando elevando su temperatura al punto de ebullición, el vapor presurizado y caliente incide sobre los alabes de la turbina, la que se pondrá en movimiento rotacional junto con el rotor del generador produciendo energía eléctrica.

**1.5.4 Análisis para Selección de Calderas**

El riesgo principal de los aparatos a presión es la liberación brusca de presión. Para poder ser utilizados deben reunir una serie de características técnicas y de seguridad requeridas en las disposiciones legales que les son de aplicación, lo que permitirá su homologación, con la acreditación y sellado pertinente.

Al margen de las características constructivas de los equipos, los usuarios de los aparatos a presión, para los que es de aplicación el reglamento de aparatos a presión, deberán llevar un libro registro, visado y sellado por la correspondiente autoridad competente, en el que deben figurar todos los aparatos instalados, indicándose en el mismo: características, procedencia, suministrador, instalador, fecha en la que se autorizó la instalación y fecha de la primera prueba y de las pruebas periódicas, así como las inspecciones no oficiales y reparaciones efectuadas con detalle de las mismas. No se incluyen en el libro las botellas y botellones de GLP u otros gases, sifones, extintores y aparatos análogos, de venta normal en el comercio.

Los operadores encargados de vigilar, supervisar, conducir y mantener los aparatos a presión deben estar adecuadamente instruidos en el manejo de los equipos y ser conscientes de los riesgos que puede ocasionar una falsa maniobra o un mal mantenimiento. En el caso de calderas de PxV>50 (P en kg/cm2 y V en m3), el Reglamento de aparatos a presión exige que los operadores dispongan de acreditación que garantice un adecuado nivel de conocimientos.

El Reglamento de aparatos a presión, mediante sus ITC determina, para cada aparato, las prescripciones de seguridad que deberán cumplir, así como las características de los emplazamientos o salas donde estén instalados, en función de su categoría.

**1.5.5 Factor de Seguridad**

Válvulas de seguridad- Todas las válvulas de seguridad que se instalen en las calderas de esta Instrucción serán de sistema de resorte y estarán provistas de mecanismos de apertura manual y regulación precintable, debiéndose cumplir la condición de que la elevación de la válvula deberá ser ayudada por la presión del vapor evacuado. No se permitirá el uso de válvulas de seguridad de peso directo ni de palanca con contrapeso.

Las válvulas de seguridad cumplirán las disposiciones constructivas y de calidad recogidas en la norma UNE 9-100.

Toda caldera de vapor saturado llevará como mínimo dos válvulas de seguridad independientes, las cuales deberán precintarse a una presión que no exceda en un 10 por 100 a la de servicio, sin sobrepasar en ningún caso la de diseño. No obstante, las calderas de la clase C podrán llevar una sola válvula, que deberá estar precintada a la presión de diseño como máximo.

Válvulas del circuito de agua de alimentación.- La tubería de alimentación de agua desde la bomba dispondrá de dos válvulas de retención; una de estas válvulas se situará muy cerca de la caldera y la otra se colocará a la salida de la bomba. La válvula de retención situada junto a la caldera llevará, entre está y dicha válvula, una válvula de interrupción que pueda aislar e incomunicar la caldera de la tubería de alimentación; estas dos válvulas podrán ser sustituidas por una válvula mixta de interrupción y retención. Si existe un economizador incorporado a la caldera de vapor, estas válvulas se montarán a la entrada del economizador.

Todas las válvulas deberán estar protegidas contra la acción de los fluidos calientes y se instalarán en sitio y forma tales que puedan ser accionadas fácilmente por el personal encargado.

**1.6 TURBINAS DE VAPOR**

Se usan ampliamente en las refinerías para suministro de potencia. Se usan para accionar bombas centrífugas, compresores de gas, soplantes de aire, ventiladores y generadores eléctricos. Cada turbina está diseñada para un propósito específico y desarrolla un potencia específica. Los principios básicos para el diseño de la turbina son siempre los mismos, aunque generalmente cuanto mayor es la turbina más complicado es.

La turbina de vapor opera a base del principio de molino de viento, o la de paletas movida por un flujo de agua que proviene de un río, En una turbina de vapor, el vapor pasa a través de una tobera pequeña a gran velocidad y empuja las aspas o álabes montados en un rotor. La fuerza del vapor hace que el rotor gire y esta fuerza desarrollada puede accionar una bomba o un compresor, o generar electricidad.

El suministro de vapor a una turbina debe estar libre tanto de condensado como de cualquier líquido, pues este causaría una rápida erosión de los álabes del rotor. Esta es una de las razones por las cuales el vapor generado es sobrecalentado.

La condensación en las líneas de vapor aumenta con la distancia desde la caldera. Se instalan trampas de vapor a lo largo de la línea para extraer el condensado en las turbinas, todas las tomas de vapor se hacen por parte superior de las líneas de distribución de vapor.

**1.6.1 Tipo de Turbinas**

*Turbinas de Impulsión*.- En una turbina de Impulsión el vapor es dirigido desde toberas hacia los álabes montados en un disco giratorio. La caída de presión se produce únicamente a través de la tobera y la presión en los álabes permanece constante.

*Turbinas de Reacción*.- En las turbinas de reacción el vapor se expande en anillos alternos de álabes fijos y álabes móviles. La caída de presión se efectúa tanto en los álabes fijos como los móviles.

Las turbinas pueden ser de impulsión o de una combinación de impulsión y reacción. Las turbinas se clasifican también por las condiciones a las que sale el vapor de la máquina.

a*.- Turbina de condensación*: Es aquella en la cual el vapor exhausto sale a presión inferior a la atmosférica.

*b.- Turbina no condensante*: Es aquella en la cual el vapor exhausto sale a una presión por encima de la atmosférica.

**1.6.2 Factor Seguridad**

A menos que la carcasa de la turbina esté diseñada para soportar la presión total del suministro, debe estar protegida por alguna forma de dispositivo de seguridad. Normalmente se coloca una válvula de seguridad rn la línea que está entre la admisión y la válvula de bloqueo.

Se acoplan válvulas centinelas a la carcasa de las turbinas que están diseñadas para resistir la presión del vapor. La válvula centinela deja escapar vapor para advertir que existe presión excesiva, pero no es lo suficientemente grande para liberar tanto vapor que reduzca rápidamente la presión en la carcasa.

**1.7 GENERADORES**

Los Motores y generadores eléctricos, son un grupo de aparatos que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica, o a la inversa, con medios electromagnéticos. A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dinamo, y a una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica se le denomina motor. Dos principios físicos relacionados entre sí sirven de base al funcionamiento de los generadores y de los motores. El primero es el principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday en 1831.

**1.7.1 Clasificación de los Generadores**

Existen tres tipos básicos de generadores eléctricos rotatorios: síncronos de ca, inducción de ca y rotatorios de cd.

Casi toda la energía eléctrica generada por las instalaciones eléctricas a servicio del público y por generadores de turbina industriales es proporcionada por generadores síncronos de ca. Este tipo de generador incluye un sistema de excitación que se emplea para regular el voltaje de salida y el factor de potencia.

Los generadores de inducción son motores de inducción de jaula de ardilla impulsados por encima de su velocidad síncrona. No tiene sistema de excitación y por ello no puede controlarse el voltaje o factor de potencia. El sistema debe suministrar la excitación. En general, los generadores de inducción se aplican donde existe un desperdicio de energía relativamente pequeño o un potencial hidráulico; son impulsados por una turbina de vapor, un motor de expansión de gas o una turbina hidráulica para recuperar la potencia de la corriente de energía. En estos casos resulta económico ajustar el factor de potencia y voltaje en otros generadores síncronos mayores del sistema.

Los generadores rotarios de cd han sido reemplazados casi por completo por rectificadores estáticos de silicio. Las demanda de generadores rotatorios de cd se limita a unas cuantas aplicaciones muy particulares, como en elevadores o grandes excavadoras. No se ha encontrado un método práctico para reducir el elevado mantenimiento asociado con los conmutadores y escobillas de los generadores de cd.

El principio fundamental de operación de los generadores síncronos de ca es que el movimiento relativo entre un conductor magnético induce un voltaje en el conductor. La magnitud del voltaje es proporcional a la tasa con la cual el conductor corta las líneas de flujo magnético. La disposición más común comprende de un electroimán cilíndrico que gira dentro de un conjunto de conductores estacionarios. El electroimán se llama campo; los conductores constituyen la armadura. Una fuente externa de energía de cd se aplica a través de los anillos colectores en el rotor. La fuerza del flujo, y por lo tanto, el voltaje inducido en la armadura se regulan mediante la corriente directa y el voltaje suministrado al campo. La corriente alterna se produce en la armadura debido a la inversión del campo magnético a medida que los polos norte y sur pasan por los conductores individuales. Las líneas de flujo magnético siempre forman un circuito cerrado. Al confinar el flujo del campo en materiales con elevada permeabilidad se intensifica la densidad de éste. La permeabilidad de ciertos aceros es miles de veces mayor que la del aire. La densidad del flujo en la cara de los polos es proporcional a los amperes – vuelta sobre los polos y la permeabilidad combinada de todos los materiales en el circuito incluyendo el núcleo del rotor, el núcleo del estador y el entrehierro.

El núcleo del estator está construido con laminaciones de acero para proporcionar tanto una trayectoria magnética de alta permeabilidad como una trayectoria de alta resistencia eléctrica para minimizar el voltaje inducido y la generación inherente de calor.

Existen dos parámetros que limitan la producción de energía eléctrica de un generador:

Saturación de la densidad de flujo. A medida que se incrementa la corriente de excitación del campo, se alcanza un punto donde la densidad de flujo no aumenta más debido a la saturación del hierro del núcleo. Lo normal es que la capacidad del generador en kilovoltamperes (kVA) se encuentre cerca de este punto de saturación del flujo.

Elevación de la temperatura en el devanado y en el aislamiento debido a las pérdidas. Esto comprende las pérdidas debidas a la corriente de excitación en el devanado del campo, la corriente alterna en el devanado de la armadura, el circuito magnético y cualesquiera corrientes parásitas o campos magnéticos que se generen.

Las siguientes descripciones son importantes para explicar el funcionamiento del tipo de generación eléctrica que se estudia en el presente trabajo.

**1.8 CICLO RANKINE**

Una planta de generación de vapor se puede analizar mediante el ciclo Rankine. El vapor saturado seco descargado por la caldera a una presión P1 es suministrado a la turbina, en donde se expande isoentrópicamente hasta una presión P2. En el condensador se transforma el vapor húmedo, isobárica e isotérmicamente, en líquido saturado mediante la remoción de calor. Si la presión en el condensador P2 = P3 es mucho menor que la presión del vapor en la presión del vapor en la caldera P4 = P1, el líquido saturado se bombea isoentrópicamente hasta alcanzar la presión P4. El líquido comprimido es suministrado por la caldera, en donde se calienta primero hasta la temperatura de saturación correspondiente a la presión P1, y luego se evapora hasta transformarse finalmente en vapor saturado seco para terminar el ciclo termodinámico.

La eficiencia térmica de este ciclo Rankine ideal puede obtenerse recurriendo a la primera ley de la termodinámica.

En consecuencia:

La diferencia de entalpía en el proceso isoentrópico puede calcularse a través de la expresión:

El trabajo requerido por la bomba es generalmente muy pequeño comparado con el trabajo desarrollado por la turbina. De aquí que la expresión del rendimiento generalmente se simplifique así:

La eficiencia térmica del ciclo puede incrementarse aumentando la entalpía del vapor suministrado a la turbina. Dicha entalpía puede incrementarse aumentando la temperatura del vapor en la caldera. Este calentamiento puede lograrse mediante el empleo de un sobrecalentador, el cual permite aumentar isobáricamente la entalpía del vapor, transformándolo en vapor sobrecalentado.

La eficiencia térmica del ciclo Rankine también puede incrementarse disminuyendo la entalpía del vapor a la descarga de la turbina. Esta disminución generalmente se logra disminuyendo la presión de operación de condensador. Sin embargo, una disminución de la presión de descarga trae como consecuencia un aumento en la humedad del vapor descargado por la turbina. Esta consecuencia es significativa si se considera que una humedad excesiva en los últimos pasos de la turbina origina una disminución en el rendimiento de ésta, y puede dar origen a la erosión de los alabes.

* + 1. **Ciclo Rankine con Recalentamiento**

La eficiencia del ciclo Rankine puede incrementarse también aumentando la presión de operación en la caldera. Sin embargo, un aumento en la presión de operación de la caldera origina un mayor grado de humedad en los últimos pasos de la turbina. Este problema puede solucionarse haciendo uso de recalentamiento, en donde el vapor a alta presión procedente de la caldera se expande solo parcialmente en una parte de la turbina, para volver a ser recalentado en la caldera. Posteriormente, el vapor retorna a la turbina, en donde se expande hasta la presión del condensador. Un ciclo ideal con recalentamiento, y su correspondiente diagrama temperatura-entropía aparece en la siguiente figura. Obsérvese en esta figura que el ciclo Rankine con sobrecalentamiento solamente, sería más eficiente que el ciclo con recalentamiento, si en el primero fuera posible calentar el vapor hasta el estado 1' sin incurrir en problemas de materiales.

El ciclo Rankine con recalentamiento puede ayudar a elevar mínimamente la eficiencia del ciclo, pero se usa para alargar el tiempo de vida de la turbina. Idealmente podríamos usar una cantidad infinita de recalentamientos para continuar elevando la eficiencia pero en la practica solo se usan dos o tres, ya que la ganancia de trabajos es muy pequeña.

* + 1. **Ciclo Rankine con Regeneración.**

La eficiencia del ciclo Rankine es menor que un ciclo de Carnot, porque se añade calor distinto al de la temperatura más alta. Este defecto se puede compensar usando un ciclo regenerativo. A continuación se presentan dos métodos, aunque el primero es muy impractico. El liquido se bombea hacia unos serpentines en la turbina para lograr una transmisión de calor. Así, podemos decir que el fluido sufre un incremento de temperatura reversible de a hasta b, mientras que se expande y enfría reversiblemente desde d hasta e. La eficiencia térmica de este ciclo regenerativo es igual a la del ciclo de Carnot. La prueba es que en el ciclo existen tres condiciones:

El calor es añadido al ciclo a una temperatura constante TA

El calor es rechazado del ciclo a otra temperatura constante TB.

Todos los procesos son, o los consideramos, reversibles.

Comparando con las condiciones del ciclo de Carnot, se concluye que son iguales.

Aunque una turbina como la descrita anteriormente se pudiera construir, seria dañino para ella ya que aumentaría considerablemente la humedad por la disminución de temperatura.

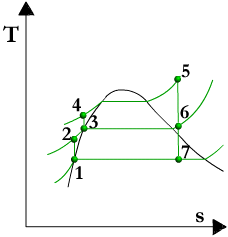
Podemos sugerir un método alternativo, el cual consiste en extraer una pequeña porción del vapor en la turbina, antes de que se expanda completamente. Esta extracción se mezcla con él liquido proveniente de una primer bomba en un calentador "abierto" o "por contacto". De esta forma podemos incrementar la temperatura del fluido sin decrementar la calidad del vapor en la turbina. Si tuviéramos una cantidad infinita de puntos de extracción a diferentes temperaturas en el proceso de expansión, la diferencia de temperaturas entre el vapor extraído y él liquido proveniente de la bomba seria mínima, lo mismo pasaría con la irreversibilidad que se produce al mezclar ambos fluidos.

Para este sistema hipotético, el calor se transfiere solamente en los puntos donde la temperatura es máxima y mínima. Si tenemos un numero finito de puntos de extracción la irreversibilidad de las mezclas hace que exista una perdida de energía. Aunque estas perdidas se den, la eficiencia térmica de un ciclo regenerativo irreversible puede ser mayor que un ciclo Rankine reversible común. Esto es posible gracias a que en un ciclo regenerativo el calor se añade a una temperatura promedio mas alta, y por eso un mayor porcentaje de este calor puede ser convertido en trabajo.

Dado que la mayor perdida de energía de una planta de potencia se presenta en el condensador, en donde se desecha calor al medio enfriador, es pertinente considerar métodos de reducir este calor desechado y de mejorar la eficiencia del ciclo.

El método mas deseable de calentamiento del condensador seria uno que fuera reversible y continuo. Suponiendo que esto fuera posible el diagrama T-S estaría representado por la figura siguiente:

**Gráfico 1.2**



Fuente:http://www.us.es/deupfis1/Tecfluyc/Rankine05.pdf

En este diagrama se considera que el vapor esta saturado al inicio de la expansión. La curva 4-5 es paralela a la 3-6 puesto que se postulo que el calentamiento es reversible. Se observara que el incremento de Entropía durante el calentamiento es igual a la disminución durante la expansión y enfriamiento del vapor, y que el área 4,5,6,3 es igual al área 1,2,3,6,7.