

Introducción a las Plantas de Generación de Exergía y su Valoración

Gerardo Cabrera C

Universidad del Valle

Semestre Agosto - Diciembre 2007

Capítulo 1

Introducción

¹ La Exergía en la forma de trabajo o electricidad son fundamentales para mover sistemas técnicos modernos. Impulsan las máquinas fábriles y transportan mercancías, materiales, animales y hombres. Sin suministro de Exergía no se produce nada ni se transporta nada.

Las Plantas de generación de Exergía son complejos tecnológicos destinados a convertir energías, provenientes de **fuentes de energía** en una forma de **energía técnicamente útil o Exergía**.

Las fuentes de energía están en la naturaleza: en el sol, el agua, el aire, la tierra y los sistemas vivos. Algunas como los combustibles fósiles los fabricó la tierra durante cientos de millones de años y por lo tanto su explotación es finita, son las fuentes no renovables.

Algunas Plantas convierten directamente la energía de la fuente en Exergía, como las Plantas solares fotovoltaicas que con el efecto fotoeléctrico producen electricidad a partir de la radiación solar. Otras plantas usan un agente de transformación que contiene la energía y la convierte en exergía cuando hace trabajo sobre una frontera móvil de el **Motor**.

Las sustancias que sirven de agentes de transformación son fluídos. En algunas plantas es un líquido que con aporte de calor se vaporiza y que normalmente es producido en una **caldera**, en un **recuperador de calor** desde alguna fuente térmica o un colector solar. En otras el mismo líquido que contiene la energía hace el trabajo

¹revisión septiembre 6 2007

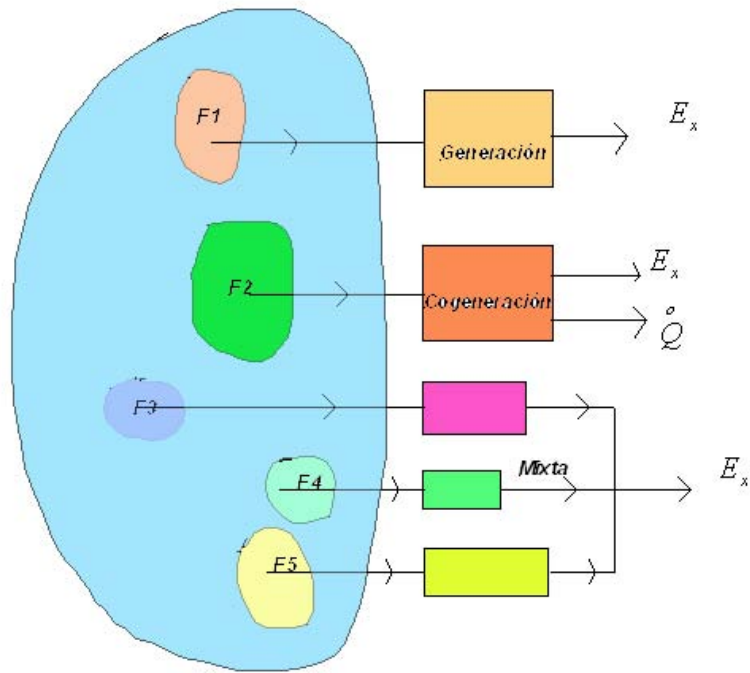


Figura 1.1: Plantas de Generación de Exergías: Planta de generación, Cogeneración, Mixta

Hay un tipo de plantas que también suministran calor además de suministrar exergía y son las plantas de cogeneración. otras combinan varios tipos de energía provenientes de distintas fuentes y son las plantas mixtas.

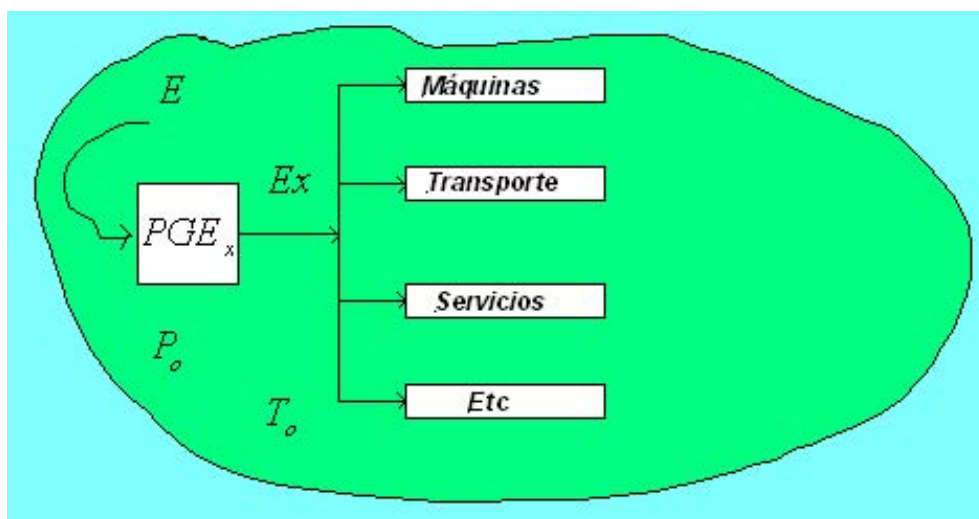


Figura 1.2: Planta de generación de Exergía mueve a

Capítulo 2

Materia-Energía-Exergía-Anergía

Para la ciencia nada de lo que existe puede estar fuera del Universo, Él es todo. Con dos entidades mutuamente complementarias: Materia y Energía. Todo es Materia y Energía.

La materia es lo inerte del Universo y la energía es lo dinámico del mismo, Son los aspectos opuestos que forman el Universo.

La materia del Universo está concentrada en los cuerpos: es concreta sensible, tangible directamente, estable, inmutable e inerme. Por lo tanto su aprehensión es empírica. La Energía, su complemento, está distribuida en todas partes, en los cuerpos y fuera de ellos, no es tangible directamente, no estable, mutable y dinámica y por lo tanto su aprehensión es racional.

Los cuerpos grandes están formados por cuerpos más pequeños. Lo más pequeños de ellos son los átomos y moléculas. Las moléculas son la porción más pequeña de un trozo de materia, están formadas por los átomos. La materia de un cuerpo es la suma de la materia de todos los cuerpos que lo forman.

La medida de la materia es la masa así que la masa es una propiedad aditiva de los cuerpos. Tanto para un cuerpo aislado como para un conjunto de cuerpos (sistema) y para el Universo mismo.

$$M_{total} = \sum_1^n M_i$$

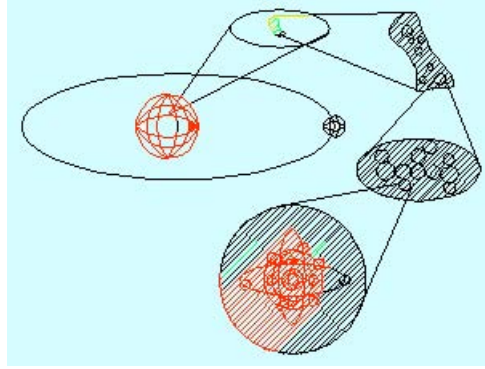


Figura 2.1: Materia en el Universo

La Energía responde por el dinamismo del Universo, está en su Orden y en su Desorden, en el Cosmos y en el Caos. Está en los cuerpos y fuera de ellos y adopta diferentes formas debido a su mutabilidad y dinamismo[1].

La energía de los cuerpos es la suma de todas las energías que la masa, que forma el cuerpo, posee, incluyendo átomos, moléculas etc. De esta forma la energía de los cuerpos es: energía cinética de la masa total, energía cinética de la masa total, energía potencial y cinética de las moléculas que lo forman (ésta suma se llama energía interna), la energía química de los enlaces que forman los átomos en las moléculas, la energía atómica de los átomos mismos.

La Energía al igual que la materia es aditiva y por lo tanto como ella:

$$E_{total} = \sum_1^n (E_{cinetica} + E_{potencial} + U + EQ + EAT)_i$$

La Energía sostiene el orden y el desorden de la materia en todos los niveles, en el Cosmos y en el Caos. La energía en el orden es Exergía y en el desorden, Anergía. *La Exergía traslada, el calor procesa*

La Energía gravitacional como cualquier manifestación de ella en la tierra (Energía cinética, potencial etc.), es exergía.[2]

Una cantidad de energía E es la suma de las dos: Ex y A. Como el movimiento de las moléculas es más o menos caótico, la energía interna es una parte Exergía y otra Anergía. El concepto termodinámico más conocido asociado con el desorden molecular

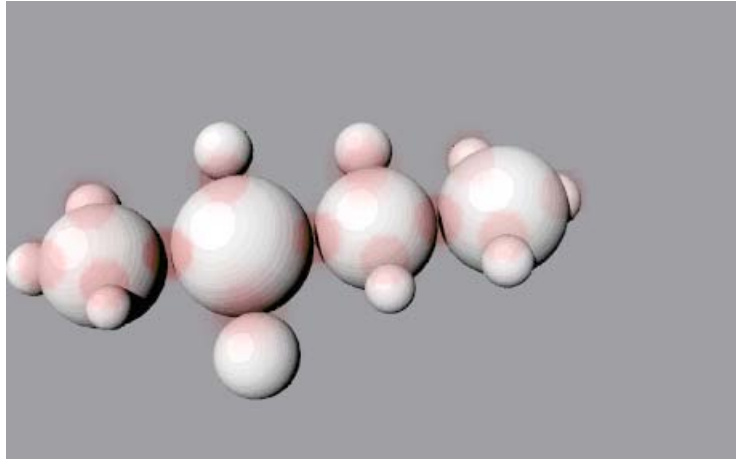


Figura 2.2: Enlaces de materia en las moléculas

es la *Entropía* otro es la *Anergía*

La energía útil es equivalente al trabajo mecánico, es la Exergía. Ésta es convertible totalmente en trabajo mientras que de la Anergía no.

la segunda ley de la termodinamica en una de sus manifestaciones postula que la exergía espontaneamente se convierte en anergía en todos los procesos reales. La exergía constantemente en todo el universo se está degradando, perdiendo calidad, convirtiéndose en anergía y con ello para el desorden aparejado ocupa mas espacio. El Universo se expande.

Capítulo 3

Energía y desarrollo

El consumo de energía ha estado asociado desde siempre con el hombre. Al igual que los animales, ha dependido de su propia energía para su subsistencia. Con el uso artificial del fuego empezó a diferenciarse de los animales.

Es tan importante el uso de energía para la humanidad, que se mide el nivel de desarrollo de una nación por su consumo por habitante.

El mantenimiento de los Estándares de vida en las sociedades modernas está ligado a los altos consumos de energía obtenida principalmente de fuentes agotables como son el petróleo, el carbón y el gas natural. Su uso no es sostenible en el tiempo por lo que se debe desacelerar su consumo y hallar nuevas fuentes. Desacelerar su consumo implica usarla eficientemente y hallar tecnologías que la demanden menos. También hallar aislamientos térmicos mejores. Por ejemplo en Estados Unidos con su altísimo nivel tecnologico el consumo de energía es asombroso ha reconocido el agotamiento de sus fuentes de energía tradicionales y despertado el interes politico por economizar el recurso obligando a procesos más eficientes y buscar fuentes novedosas de suministro[3]

El hombre desde remotas épocas aprendió a usar fuentes de Energía exteriores a sí mismo. Tira el arado con animales, los usa para el acarreo y el transporte, con troncos se transportaba primitivamente aprovechando la energía hidráulica de los ríos. Cuando quema madera de los bosques aprovecha la energía química de la biomasa que es energía solar acumulada en las plantas gracias a la fotosíntesis.

Ha usado tradicionalmente la biomasa obtenida de los vegetales de los bosques primitivos , que le dió el calor para hacer más cómoda su exixtencia y cocer sus alimentos y alimentarse mejor.[4]

Gradualmente fue aprendiendo a aprovechar más y más fuentes de energía de la naturaleza y en la época moderna construyó máquinas sofisticadas para usarla en grandes cantidades y montajes más complejos denominados **Plantas de generación** para obtenerla en forma aprovechable.

El hombre primitivo, sin comprenderlo exactamente, estaba usando una propiedad que tiene la energía de transformarse de una forma a otra. Lo que el hombre primitivo hacía inconscientemente, y el hombre moderno ha venido haciendo conscientemente, es transformar un tipo de energía que le brinda la naturaleza, en un tipo de Energía útil o energía que le permite hacer algún trabajo. Modernamente se reconoce como Energía útil (o Exergía), cualquier tipo de ella que sea posible de convertir completamente en trabajo.

Se ha surtido de las fuentes fósiles desde la revolución industrial para las inmensas demandas de la tecnología, los bienes de consumo y el transporte. Lo que produce descargas que la naturaleza no puede reciclar y el efecto invernadero

Al descubrirse la energía eléctrica y sus bondades de su transporte y utilización ésta pasó a ser una de las presentaciones más importantes de la energía para el hombre.

Los depósitos de energía en la naturaleza son las llamadas Fuentes de Energía, las Plantas de transformación la convierte en energía útil principalmente electricidad para ser utilizada por los consumidores.[5]

El hombre moderno asocia sus estándares de calidad de vida a los consumos de Exergía, más consumo per capita le significa un mayor escalón en el desarrollo y mejor calidad de vida. EE.UU. consume alrededor de un 25 % de la energía mundial aunque sólo tengan un 5 % de la población mundial del planeta. Ésto lo situaría en el primer lugar en desarrollo y calidad de vida.

Para que el resto del mundo consuma al ritmo normal de EE.UU. se necesitaría multiplicar la producción mundial por 6,33. pero los estadounidenses reciben el mensaje constante de que no consumen lo suficiente y el resto del mundo toma como modelo a los más ricos de EE.UU. Si tomamos al 5 % más rico como media para la comparación, el valor de 6,33 se debería ajustar hasta un 40,0 para que todo el mundo consumiera al mismo nivel que los más ricos en EE.UU.

La población mundial crece en forma exponencial y aunque se espera que la población desacelere su nivel de crecimiento todavía crecerá en un 50 % entre 2007 y 2050. Te-

niendo en cuenta el crecimiento de la población, para el 2050, la producción debería actual debe multiplicarse por alrededor de $40 \times 1,5 = 60$. La economía de mercado debe crecer o desaparecer. Una opinión ampliamente compartida es que la economía mundial continuará creciendo un 2-3 % anual durante el resto del siglo. Un 2,5 % de crecimiento triplicaría la producción para 2005. Esto significa que la generación de Energía debería crecer en $60 \times 3 = 180$. [6]

Los expertos aceptan que, para evitar los efectos catastróficos del calentamiento global, las emisiones de gases (principalmente CO₂) deben disminuir en un 60-80 % para el 2050 y en EE.UU. un recorte de un 95 %). La sustitución de los combustibles fósiles por tecnologías alternativas con fuentes solar y eólica principalmente, puede ayudar a conseguir ésta reducción pero no se deben pasar por alto varios:

1. Las grandes empresas bombardean al mundo con el mensaje de que todos deberían consumir como lo hacen los estadounidenses
2. Las grandes empresas les dicen a los estadounidenses que deberían imitar a los ricos
3. La población mundial crece
4. La economía de mercado obliga a una expansión patológica y la producción de más cantidades de mercancías
5. La energía solar y eólica constituyen una fracción mínima de la energía actual

Las energías renovables se consideran fuentes de energía que no "disminuyen" con su uso [6]. Pero también generan impactos por los materiales utilizados para aprovecharla y los efectos medioambientales asociados con su fabricación montaje y uso. Si la fuente de energía del Universo es infinita, pero la tierra y los materiales que se utilizan para capturarla no son infinitos y desde éste punto de vista se debe considerar si son realmente "renovables". La energía renovable no es totalmente renovable porque depende de los combustibles fósiles para reemplazar a los combustibles fósiles.

El total de energía consumida en la actualidad en EE.UU. es de aproximadamente 100 quads (10^{15} Btu). En su clásico *The party's over* (La fiesta ha terminado), Richard Heinberg observa que "para producir 18 quads de energía eólica en EE.UU. para el 2030 se necesitaría una instalación de algo así como medio millón de turbinas de última tecnología... lo que es cinco veces la actual capacidad de producción mundial para turbinas...la mayor parte de la energía necesaria para dicha empresa provendría de los

menguados combustibles fósiles.”[6].

El sector energético moviliza al año (en producción y consumo, naturalmente) unos 8750 Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo), que equivalen a $3,7 \times 10^{20}$ Joules o $8,75 \times 10^{13}$ termias de las que alrededor del 90 % es de origen fósil, casi 7 % de energía nuclear, y alrededor de un 3 % de energías renovables, mayoritariamente hidráulica, con una pequeña aportación eólica.

A las cifras anteriores se deben añadir las provenientes de la biomasa principalmente vegetal unos 1000 Mtep de biomasa de todo tipo consumida principalmente en forma de leña.

La potencia media de la producción antropogénica (en la que interviene el hombre) de energía es de 11,5 TW ($1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$) alrededor de 2 kW por persona (para comparar: la dieta media representa 140 W/persona para una aportación de 3000 kcal/día) o sea que se consume mucho más en uso de la energía que en la alimentación media suficiente.

Haciendo una referencia histórica: Actualmente el consumo de energía artificial es de casi 1,5 Mtep por persona y año. Hacia 1965 dicha cifra era de 1 Mtep (con una población algo inferior a 3.200 millones de personas), y esa misma cifra era aproximadamente la de Mtep.

Capítulo 4

Flujo de Energía en la tierra

La Energía que surte a la tierra proviene casi exclusivamente del sol. Llega en forma de ondas electromagnéticas que en la superficie, gracias al fenómeno de fotosíntesis, se convierte en biomasa vegetal en primer lugar y animal siguiendo una cadena alimentaria. Biomasa sepultada y fosilizada es el carbón, el petróleo y el gas natural.

El Sol calienta al aire y al agua. Evapora al agua y la convierte en componente del aire. Calienta en forma desigual al agua del mar y al aire de la atmosfera los que acumulan energía térmica.

Gradientes de temperatura producen corrientes hacia arriba de aire atmosférico y los vientos o energía eólica. El agua contenida en el aire a niveles altos de la atmósfera se satura y cae como lluvia que baja en los rios y queda en los lagos, constituyendo energía hidraulica.

El viento produce olas en el mar y la posición cíclica de los astros más próximos las mareas. La energía mareomotriz es de algo así como 3.5 TW dispersada por el mar y en estuarios de características peculiares.

Una *fente de Energía* es un recurso donde de alguna manera se puede extraer Energía. El objetivo técnico es extraerla para obtener de ella trabajo útil. Si en la fuente existe la energía totalmente como Exergía está como energía una manifestación de la energía gravitacional, cinética o potencial. Si en la fuente de energía coexisten Exergía y Anergía la planta de generación de Exergía separará la una de la otra para usar la Exergía en alguna aplicación técnica.

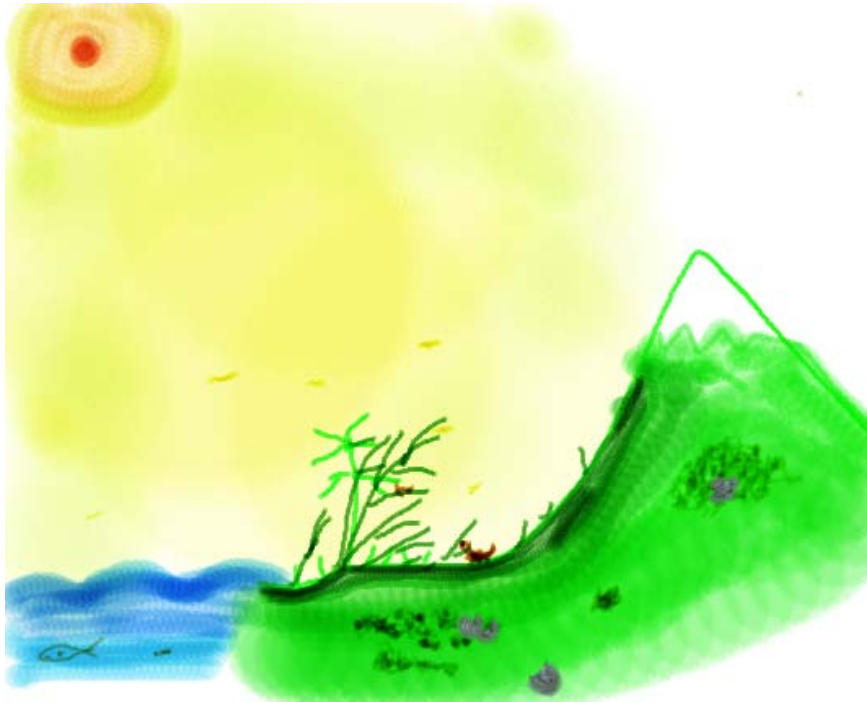


Figura 4.1: La Energía del Sol sostiene la Tierra

4.1. Flujo desde el interior de la tierra (o Geotérmica)

En el interior de la tierra existen temperaturas muy elevadas que alcanzan los $7000^{\circ}K$ en el núcleo central y unos $300^{\circ}K$ en la superficie. El origen de esto es doble: uno, la acción de la gravedad, y otro, la desintegración nuclear natural. La compresión gravitacional fue decisiva durante la formación de nuestro planeta, hace 4500 millones de años. Desde entonces, la tierra se ha venido enfriando lentamente, aunque el trabajo gravitatorio que aún realiza se disipa casi exclusivamente mediante el calor, con aportaciones mecánico-tectónicas, elásticas y eruptivas. La radioactividad actual es menor que en el pasado, subsisten los núcleos de vida media alta. Como consecuencia de ese calor del interior terrestre, el 90% de la superficie continental manifiesta un flujo calórico de 50 mW/m^2 . Esto corresponde a un gradiente térmico menor de $3^{\circ}C$ cada 100 metros de profundidad, lo que significa la práctica poca posibilidad de aprovechar tal energía en cualquier sitio. la posibilidad si queda en las zonas con actividad tectónica cerca a la superficie.

El flujo total de calor hacia la corteza terrestre es enorme, unos 10^{21} J/año o una

potencia de unos 30 TW, pero a dada su baja densidad por unidad de superficie es improbable su uso. El atractivo auténtico de la energía geotérmica es la existencia de zonas anómalas en las que se dan circunstancias favorables de temperatura, gradiente térmico y flujo calorífico. Si se puede inyectar agua fría y extraer vapor saturado sería probaable la generación.

4.2. Flujo desde el sol

El sol radia energía electromagnética con un espectro característico de cuerpo negro a unos 5780 K (grados Kelvin). A la parte exterior de nuestra atmósfera es bastante superior a la cifra antedicha, y en valor medio es de 1.352 W/m² de orientación normal al sol. A nivel del mar, con atmósfera clara, la irradiación solar alcanza unos 1000 W/m² perpendicular a la trayectoria del rayo de sol.

Estos valores cambian según las variaciones astronómicas de la distancia entre Tierra y Sol y con la actividad solar. Se han detectado un cuasiciclo de variación de actividad de la superficie solar de unos 11 años de periodo.

A la tierra llegan anualmente unos $5,5 \times 10^{24} J$, o $1,75 \times 10^5$ TW de potencia media, que equivale a 15.000 veces la actual energía antropogénica. Son de mucho significado energético la dispersión y absorción de luz por los diversos constituyentes de la atmosfera. Casi un 30 % de la radiación incidente con longitudes de onda relativamente cortas es dispersada . Esto ocurre sobre todo en las capas altas atmosféricas y en las zonas circumpolares, por su ángulo de incidencia, más oblicuo.

Más del 70 % de la radiación es reemitida como longitud de onda mucho más larga lo que significa una media de potencia de alrededor de 250 W/m². Esos fotones llegan hasta dentro del suelo o del mar y surten la biosfera. El espectro de luz así emitida sea mucho menos energético (ondas más largas) y en vez de corresponder a 5780 °K de temperatura, propios de la luz solar original, sea tan solo de 288 K, que es la característica media de la Tierra 15°C).

Las complejas interacciones de los fotones solares con la biosfera son el fundamento del clima y la propia vida y a los ciclos vitales, particularmente del H_2O y del CO_2 (que no absorbe sino una minúscula fracción de la energía recibida, del orden de las 10 millonésimas)

El valor medio la energía transferida entre la superficie del planeta y la atmósfera (siempre en ida y vuelta) es del orden de la mitad de la radiación solar original, algo

inferior a $700 \frac{W}{m^2}$. En valor medio por m^2 de la superficie terrestre se reduce en un factor 4. $175 \frac{W}{m^2}$ que es el flujo energético medio a nuestro nivel.[7]

Como resumen tenemos:

1. Energía antropogénica (año 2000) $8.750 \text{ Mtep/año} \approx 3,65 \times 10^{20} \text{ J/año} (\approx 11.5 \text{ TW})$
2. Energía del equilibrio termofísico (de la irradiación solar, fundamentalmente) a nivel de la biosfera $= 3.5 \times 10^{24} \text{ J/año} (\cong 10^5 \text{ TW})$
3. Energía absorbida y reciclada a través de la biomasa: $1000 \text{ Mtep/año} \quad 4,210^{19} \text{ J/año} (\cong 1.31 \text{ TW})$

El 99.98 % de la energía en Tierra proviene del Sol. La hidráulica, las mareas, las olas, la eólica de alguna manera dependen de Él. [8]

La radiación solar, llega a la superficie terrestre, dependiendo de la latitud (a mayor distancia de la línea ecuatorial menor radiación), altura sobre el nivel del mar (a más altura más radiación), la orografía (valles profundos tienen menos horas de sol) y la nubosidad (a mayor nubosidad menos radiación).

La Energía nuclear o atómica, la geotermal (del calor del interior de la Tierra,) y la gravitacional (la fuerza de la gravedad) la Tectónica, no dependen del Sol.

Las fuentes de energía son cuerpos donde está la energía en forma disponible. Las fuentes de energía en la tierra son:

1. Atmósfera (gases) Es el viento la fuente de energía disponible, la energía del aire en movimiento es energía cinética.
2. Hidrosfera (líquidos)
 - El mar (olas, mareas, corrientes marinas, térmica del mar)
 - Rios
 - Lagos
3. Litosfera (sólidos)
 - Rocas radiactivas.

- Combustibles fósiles.
- Geotermal
- Tectónica

4. Biosfera (vida)

- Animal (seres autónomos) (Energía animal y biomasa)
 - Energía animal
 - Biomasa (tejido muscular, grasas y aceites)
- Vegetal biomasa
 - Tejidos leñosos
 - Aceites
 - Grasas

5. Socioesfera (cultura y tecnología)

La ciencia y la técnica harán que una fuente *disponible* sea *aprovechable*. El mundo no puede sostener los actuales niveles de consumo energético. La tecnología actual así es insostenible y se deben encontrar nuevas fuentes aprovechables y las tecnologías apropiadas para su aprovechamiento.[4]

Capítulo 5

Plantas de generación de Exergía

Una planta de generación de exergía (debería decirse: "Plantas de extracción de Exergía) es un complejo creado por el hombre destinado a transformar la proveniente de alguna fuente de la naturaleza en una forma de energía útil para el hombre.[9]

ENERGÍA ÚTIL es energía que se encuentre en alguna de las formas: cinética, potencial, trabajo - energía mecánicas - o energía eléctrica. Modernamente a la energía útil se ha dado en llamarla Exergía y aquella forma de energía completamente incapaz de transformarse en trabajo, Anergía.

La planta de generación de energía viene a ser un complejo destinado a obtener exergía de alguna fuente de energía de la naturaleza.

Ejemplos de plantas de generación de exergía son: Las centrales termoeléctricas, las instalaciones fotovoltaicas, las centrales hidroeléctricas, los automotores etc. todas dedicadas a transformar energía de una fuente en alguna forma de energía útil ya sea trabajo, energía cinética, electricidad etc.

Una planta de generación de Exergía recibe Energía proveniente de una fuente ($E_x + A$) y separa la Exergía de la Anergía, para ser usada por un consumidor. Se visualiza como un "filtro de Exergía".

Toda planta para la generación exergética se visualiza configurada por:

- La fuente de energía que es exterior
- Un subbloque o sistema para depósito o acumulador de Energía que proviene de la fuente y que en algunos casos es inaplicable

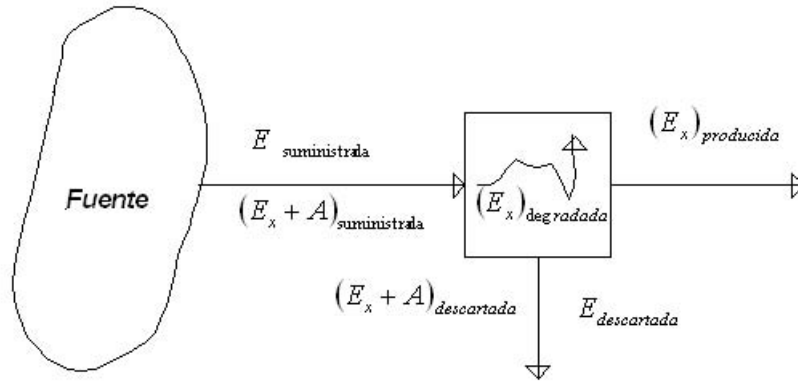


Figura 5.1: Representación de una Planta de generación de Exergía

- Un subbloque o sistema de transformación encargado de "filtrar" la Exergía
- Un subbloque o sistema de acumulación de Exergía. También en algunas plantas no existe o es inaplicable
- Un subbloque o sistema de distribución de Exergía
- Un subbloque o sistema para sacar y tratar la descargas.
- El consumidor que también es exterior.

Toda la planta y sus partes debe ser considerada integrada en la naturaleza. De ella taoma sus recursos hacia ella van sus servicios y utilidades y hacia ella van sus descargas en forma de energía descartada, y efluentes emisiones.

Las deberían ser sostenibles y sustentables y para ello o deberán producir ninguna huella en la naturaleza. Deberían usar fuentes renovables y la naturaleza tener la capacidad de eliminar y/o asimilar sus descargas en sus procesos naturales.

Los índices de desempeño de la planta deberán ser definidos para que reflejen su impacto con la naturaleza. El uso de los recursos debe ser racionalmente planeado para que sean mínimos y los índices de conversión deberan ser máximos.

La eficiencia energética η_{energ} de una planta de generación, que es el indicie del desempeño energético de la planta en su conversión de energía, *siempre será menor que 1*, mientras que la eficiencia exergética η_{exerg} , que significca lo mismo anterior pero en términos exergéticos, siempre es *menor o igual a 1*.

$$\eta_{energ} < 1 \quad (5.1)$$

$$\eta_{exerg} \leq 1 \quad (5.2)$$

En el caso de las plantas térmicas de generación de Exergía (PGET) la energía proveniente de la fuente es calor. El calor (al igual que la energía interna U) es Exergía mas Anergía.[10]

5.1. Clasificación de las PGEx

Una primera clasificación de estas plantas, siempre una clasificación es caprichosa, se puede hacer tomando como base el tipo de fuente de energía que utilice:

1. Plantas térmicas.
 - Solares
 - De combustión química
 - Combustión nuclear
 - De regeneración
 - De depósitos de Energía térmica.
 - Plantas geotermiales.
2. Plantas hidráulicas.
 - De mares y Oceanos
 - De rios y lagos
3. Plantas eólicas.
4. Plantas Solares fotovoltaicas
5. Plantas de fuentes novedosas o no tradicionales.

Las anteriores usan como fuente de energía primaria respectivamente las que poseen : El calor, el agua, el viento, el sol, y el interior de la tierra, o una fuente novedosa, que mediante un procedimiento diferente al tradicional permite obtener Exergía.

Las plantas térmicas producen exergía mediante un agente de transformación que hace ciclos. Éste puede ser un gas (Ciclo Brayton, Otto, Diesel etc.) o uno que secuencialmente es líquido y vapor producido al evaporarlo mediante el aporte de calor. De aquí que las Plantas térmicas se pueden clasificar cómo:

1. Ciclo de gas
2. Ciclo de vapor
3. Ciclo combinado gas vapor.

También se pueden tener en la misma plantas térmicas que combinan ciclos de gas y de vapor incluso varias fuentes.

1. Combinadas (vapor y gas)
2. Cogeneración (Producen Exergía y calor para procesos)
3. Mixtas (combinan varias fuentes de energía)

Las fuentes de *energía primaria* respectivamente son: El calor, el agua, el viento, el sol, el calor de la tierra. Fuentes que no caigan en éstas son denominadas *fuentes novedosas* que mediante un procedimiento diferente al tradicional permiten transformar energía.[11]

Capítulo 6

Configuración general de una PGE_x

Éstas plantas tienen como finalidad producir un tipo de energía útil para un consumidor a partir de una fuente que contiene en alguna forma de energía disponible. Esto significa que hay un recorrido del flujo de energía conducente a surtir de a un consumidor, al comienzo del cual está la fuente de energía y al final estará el consumidor o usuario final.

Una fuente de energía disponible será aprovechable sólo si se cuentan con unas condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales aceptables.

Toda Energía se puede clasificar como Exergía y Anergía dependiendo de su propiedad de conversión en trabajo. Una fuente será de mas calidad entre más contenido exergético tenga(*Exergía intrínseca*).

En forma general cualquier Planta de generación de exergía debe ser comprendida conceptualmente y en términos generales, como conformada por las siguientes partes:

1. Acumulador de energía.
2. Convertidor o Transformador de Energía.
3. Acumulador de Exergía.
4. Distribuidor de Exergía.
5. Disipador de Energía desechada.
6. Disipador de efluentes y descargas

Al comienzo estará la fuente de energía aprovechable, que le puede proporcionar la energía, y al fina el consumidor, el cual impone una demanda, que para la planta será su carga.

6.1. Acumulador de energía

Es completamente necesario en plantas de generación grandes.

La energía proveniente de una fuente y contenida en un material físicamente identificado, sobre todo cuando se trate de fuentes de energías tradicionales, (carbón, gas natural y petróleo) después de haber sido procesada es enviada por algún medio a los sitios donde se va a consumir. En este caso una Planta de generación de Exergía. Ya en la planta como en el caso de estos materiales combustibles, deben ser almacenados para ser usados en el momento conveniente. Las represas de las plantas hidráulicas cumplen esa finalidad.

En el caso de fuentes de energía diferentes, es claro que esta parte de acumulación no necesariamente está perfectamente diferenciada. en el caso del viento, por ejemplo, para las plantas eólicas, la energía disponible está en toda la atmósfera y no es claro el oficio ni la presencia del acumulador de energía. Si lo será, y muy importante, en el caso de la energía hidráulica, en las cuales las presas (o represas) son los verdaderos acumuladores de energía. Es claro pues que esta parte es donde será acumulada la energía como materia prima para ser transformada en la siguiente etapa.

El acumulador de Energía afecta necesariamente al medio ambiente, no solo por el considerable tamaño sino, además, por las importantes descargas y contaminación que conlleva indisolublemente.

6.2. Convertidor o Transformador de Energía

Es el que dentro de la planta se encarga de obtener la energía necesaria para el consumidor.

Es una parte muy compleja de las plantas de exergía. Está constituido por varios sistemas cada uno encargado de una labor sobre un cuerpo diferente.

De esta manera y para el caso de las plantas de combustión química directa, se contará con los siguientes sistemas los que estarán integrados en diferentes subbloques:

1. Sistema de conversión de energía.
2. Sistema combustible - combustión.
3. Sistema aire - humos o sistema de gases.
4. Sistema de enfriamiento o de refrigeración.
5. Sistema de extracción de cenizas (si el combustible es sólido).

6. Sistema eléctrico y de servicios.
7. Sistema de regulación y control.
8. Sistema de tratamiento de agua de reposición.
9. Sistema de tuberías y conductos.
10. Sistema de protección ambiental.

El sistema de extracción de cenizas estará presente solo en el caso de los combustibles sólidos. Cada uno de estos sistemas es objeto de estudio en este trabajo.

Para el caso de los otros tipos de plantas de generación los sistemas pueden ser diferentes de acuerdo con la finalidad que deban cumplir.

6.3. Acumulador de Exergía

La energía útil obtenida en el convertidor algunas veces es importante guardarla. Puede ser el caso, por ejemplo, cuando está en forma de energía mecánica como energía cinética y no es producida en forma regular. Un volante en que la acumule como masa inercial sería aconsejable en este específico caso. Un banco de baterías sería para el caso en que la exergía esté en forma de energía eléctrica, un volante o un acumulador de energía potencial (como un tanque elevado).

El acumulador de Exergía es muy importante en plantas de generación pequeñas sobre todo cuando la fuente de energía es estacional o variable en el tiempo, como el viento y el sol.

6.4. Distribuidor de Exergía

En el proceso de suministrar la exergía hacia el punto de consumo es donde toma parte el distribuidor de exergía. En el caso eléctrico, subestación redes de distribución etc. Son parte de él.

6.5. Disipador de Energía desechada y Anergía descargada

Ya se ha mencionado que la energía proveniente de la fuente es una parte Exergía y la restante Anergía. Toda planta de generación en funcionamiento óptimo puede asemejarse a un filtro en que a la energía suministrada (exergía más Anergía) se le

depura para que la exergía siga hacia el consumidor y la Anergía se retorne al universo. En esta labor entra el descargador de Anergía. Si la planta no es totalmente eficiente saldrá también por ahí parte de exergía.

6.6. Disipador de efluentes y descargas

Cenizas humos aguas residuales, de las purgas etc. son flujos de masa desechada del proceso. Éstas regresan al medio ambiente y deben hacerlo de la manera mas amigable con la naturaleza. Para que sea posible éste objetivo las plantas tienen éste sistema encargado de ello.

Las PGEx deben ser amigables con la Naturaleza para que sean éticamente funcionales. Su sostenibilidad depende del tipo de fuente utilizada y del uso racional de su explotación. Una afuente deberá usarse manteniendo su status de renovable y el impacto y descargas producida deben ser de tal naturaleza y maganitud que con sus procesos normales la natauralaza los asimile y recicle.

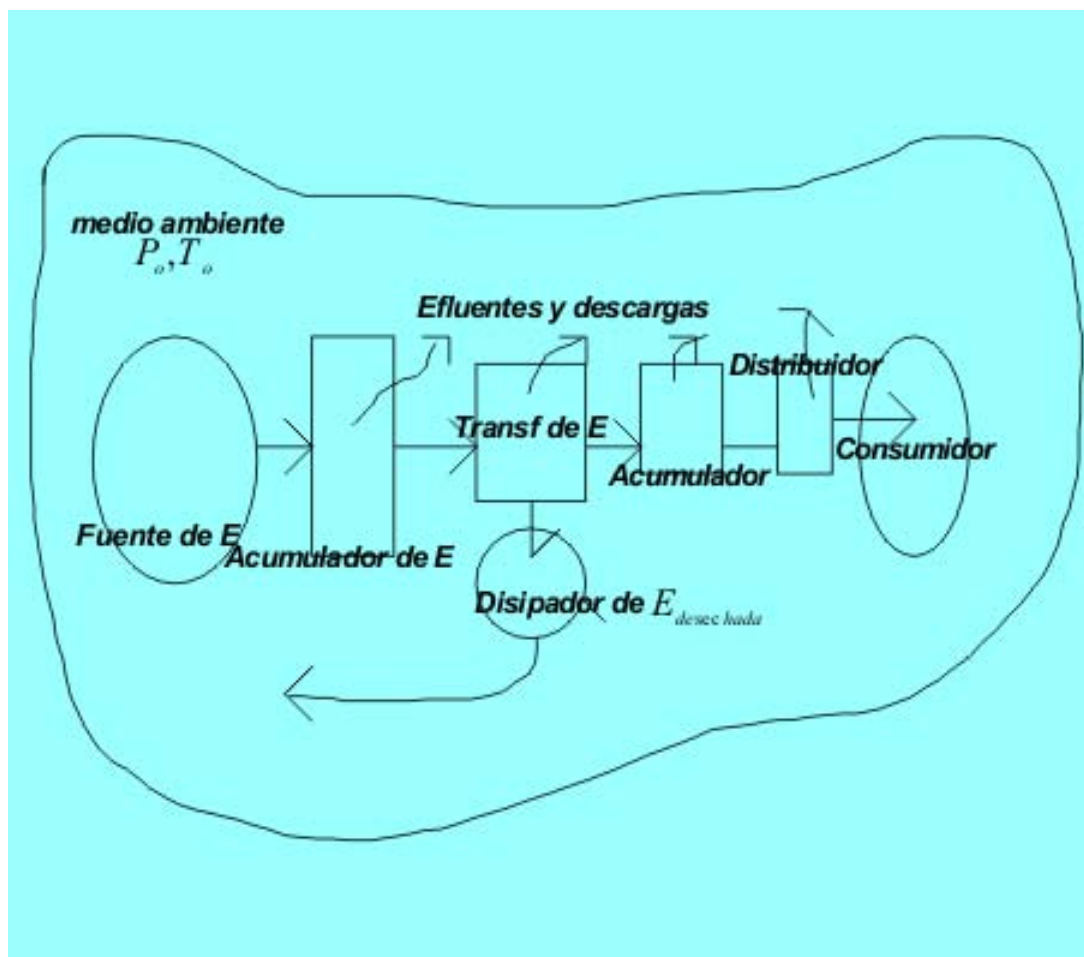


Figura 6.1: Sistemas de las plantas de generación de Exergía

Capítulo 7

Ingeniería en las plantas de generación de Exergía

En la ingeniería relativa a las plantas de generación de exergía, hay tres tipos de intereses respecto al tema:

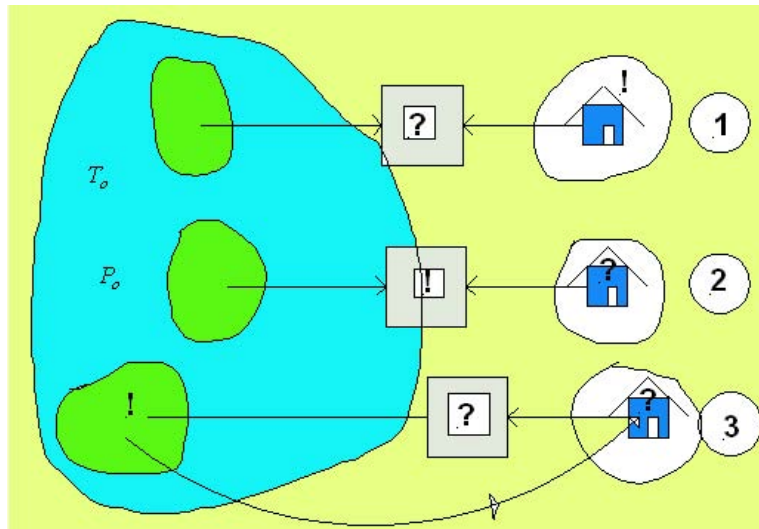


Figura 7.1: Ingeniería de las plantas de generación

1. **Dimensionamiento o diseño de la planta y sus partes.** Aquí el interés es obtener un tamaño de la planta y de sus componentes para que sean capaces de producir una determinada **potencia de diseño**. El dato es una potencia de diseño, escogida a paratir de los datos de la demanda con criterios político,

económico y técnico.

Para escoger la potencia de diseño se debe confeccionar la **curva de demanda de Energía** en donde va consignada la historia del consumo real o probable de la misma. Con ésta adicionándole provisiones de pérdidas y ampliaciones se construyen las **curvas de carga** y de **utilización de la carga**

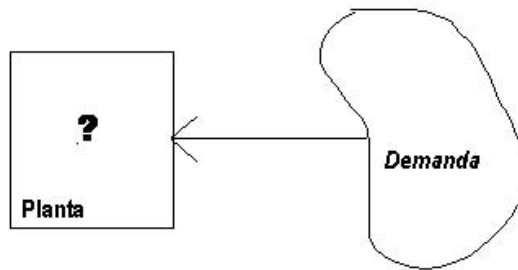


Figura 7.2: Concepción del dimensionamiento planta

2. **Chequeo.** Se puede tomar como el proceso inverso al anterior. Se cuenta con un determinado tamaño de planta y de sus partes y se debe calcular cuánta exergía se puede obtener de ella. Para ésta labor se debe hacer el levantamiento de los

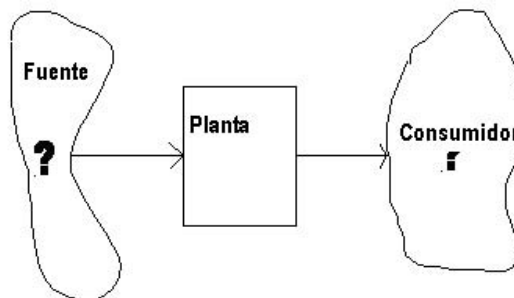


Figura 7.3: Concepción del chequeo de una planta

elementos de la planta de su configuración en bloques y sistemas en especial el Bloque energético.

La máxima potencia que puede generar será la máxima del elemento más débil conectado en serie. Entonces el procedimiento es, después de haber esclarecido los bloques y sus elementos, identificar el más débil entre los elementos de cada sistema. El más débil entre todos permitiría tomar la decisión acerca de la potencia de la planta y las recomendaciones para incrementarla.

3. **Chequeo y evaluación de la fuente de Energía.** Después de identificar una fuente de energía disponible de lo que se trata es de identificar cuanta de esa energía es aprovechable. Los conceptos de energía disponible y aprovechable se discuten más detalladamente adelante.

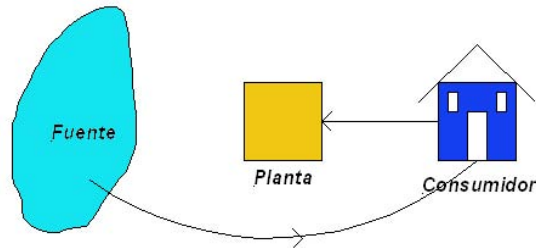


Figura 7.4: Concepción del chequeo la fuente

Capítulo 8

Estudio de demanda y Carga

8.1. Introducción

La configuración general de una planta de generación de exergía, como se vió ya, tiene que contar en el comienzo con la fuente de energía aprovechable y, después del trabajo de todos los sistemas que la integran, se satisfaga al consumidor o usuario final. Se busca, y se evalúa, donde sacar la energía aprovechable y se estudia los gastos del consumidor al que se le debe satisfacer. Añadiendo las pérdidas a la demanda y provisiones para ésta, se conocerá la carga de la planta.

El estudio de una nueva planta pasa por saber cual es la cantidad de energía a producir y para saber esto se debe estudiar la demanda de los consumidores. Para el chequeo de una en funcionamiento se deberán valorar los equipos que se tienen instalados y su trabajo en conjunto y determinar cuanto puede producir el complejo.

El hombre y los animales y en general todos los seres vivientes, se pueden acomodar al ambiente, unos con más éxito que otros. Sólo el hombre puede transformar voluntariamente el medio ambiente para su confort y utilidad. Puede aprovechar fuentes de energía exteriores a si mismo, disponibles en su entorno, pero a su vez lo afecta. Su primer paso fué dominar el fuego. Domesticó animales, utilizó corrientes de agua y de viento y construyó máquinas y plantas. Todos esos logros tienen en común un cierto dominio de la ciencia y técnica de la energía y contar con el recurso. Poco a poco la energía que demandaba fue en aumento y se volvió imprescindible en la búsqueda y el logro de su bienestar. Su uso ha pretendido asegurar una mejor calidad de vida. Empezó por la lucha por la supervivencia y ya va en la conquista del espacio extraterrestre, pasando por la ampliación de las fronteras de la ciencia y de la técnica. En resumen el hombre siempre ha estado en demanda de más energía y la plantas de generación se la

deben proveer adecuadamente

Hoy ya es imprescindible mejorar el uso de la energía mejorando y creando nueva tecnología. También se deben buscar nuevas fuentes disponibles y convertirlas en aprovechables y mejorar los métodos para su transformación y así contar con exergía y calor. **La Exergía mueve y el Calor procesa.**

8.2. Análisis de la Demanda

Los consumidores se pueden agrupar por sectores atendiendo a sus características comunes:

1. Sector comercial
2. Sector industrial
3. Sector domiciliario
4. Público.

Los primeros son todos los clientes dedicados a una actividad comercial. La venta de productos ya procesados o que procesan mediante procedimientos muy sencillos y de poca monta. Panaderías, por ejemplo. Uso comercial significa que no hay plantas de procesos de manufactura que demanden energía.

En el segundo grupo están todos los clientes que tienen instalaciones fabriles y relacionadas con esta actividad de producir productos de consumo.

En el tercero se agrupan los clientes que corresponden a las residencias y casa de habitación familiar.

Al último pertenecen los edificios, parques, jardines, instalaciones de alumbrado de uso publico y a cargo del estado.

8.3. Curva De Demanda

La información de la demanda se presenta mejor en forma gráfica en la denominada curva de demanda, que no es sino un gráfico de consumo en unidades de potencia energética (Kwatts o Mwatts) contra tiempo en horas. Puede ser anual, mensual o anual.

De la misma manera puede ser para cada uno de los sectores, para dos combinaciones de ellos o para todos. En resumen muestra la historia del consumo por parte de los usuarios en un grafico de potencia versus tiempo en horas, días, meses.

Para confeccionarlo se debe arrancar de un inventario de consumo real o proyectado. El resultado es una curva de potencia versus tiempo en escala de 24 horas, 720 horas (o en días) o 8760 horas, de acuerdo con el tipo de curva (diaria, mensual o anual)

Tarea: curva de demanda y cálculo de la energía demandada. Idem curva de carga y energía a producir por la planta

8.4. Curva de carga

Con la curva de demanda se construye la correspondiente curva de carga. Ésta muestra las características temporales en que la planta debe ir produciendo la energía. Por la misma razón puede ser diaria, mensual o anual. En las curvas de que se habla el eje vertical tiene unidades de flujo de energía y en horizontal las unidades de tiempo en que se mide el periodo de operación o de suministro (normalmente horas)

De las curvas anteriores se extrae información útil. La primera es acerca de su estabilidad.

8.5. Índices de demanda y carga

Para parametrizar el comportamiento y demás información de las curvas de demanda y de carga se han definido ciertos parámetros. Flujo de exergía que puede ser dibujada con respecto a tiempo obteniéndose la curva de demanda o de carga, diaria mensual o anual.

8.5.1. Demanda de energía

. Es el área bajo la curva de demanda en Kwatt-hora (anual, mensual o diaria, de acuerdo con el eje horizontal de la curva)

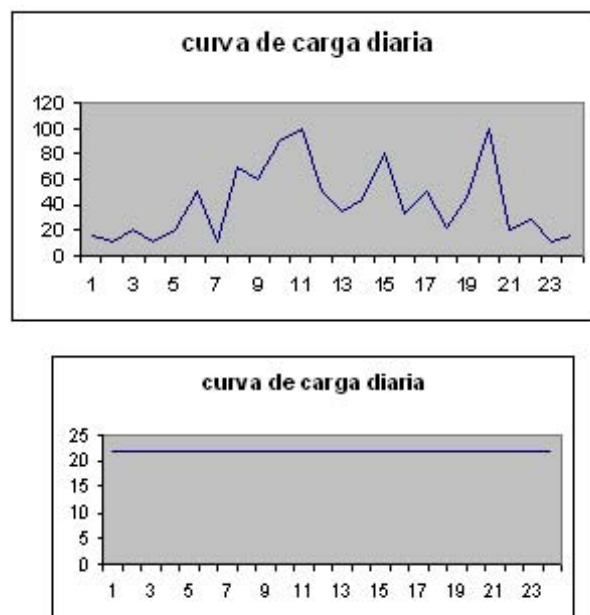


Figura 8.1: Curvas de carga: Carga inestable y estable

8.5.2. Carga total o Energía producida

Es el área bajo la curva de carga en Kwatt-hora (anual, mensual o diaria de acuerdo con la curva)

$$\dot{W} = \frac{\partial E}{\partial t} \quad (8.1)$$

$$E_d = \int_0^{24h} \dot{W} dt \quad (8.2)$$

$$E_m = \int_0^{30d} \dot{W} dt \quad (8.3)$$

$$E_a = \int_0^{8760h} \dot{W} dt \quad (8.4)$$

También se definen consumos y carga dentro de períodos Δt

$$E_{\Delta t} = \int_0^{\Delta t} \dot{W} dt \quad (8.5)$$

8.5.3. Carga máxima (o demanda máxima) W_{max}

Es el valor máximo en Kwatt que aparece en la curva de carga - demanda- (anual, mensual o diaria de acuerdo con la curva). La duración de la ocurrencia de esta carga es un instante.

8.5.4. Carga pico especificada o demanda pico especificada W_{pico}

Es una carga demanda- máxima cuya duración es un lapso de tiempo especificado convencionalmente. Como la carga máxima tiene una duración instantánea, tiene problemas a la hora de ser utilizada en cálculos. Para obviar estos se escoge la carga máxima de una duración especificada de un cuarto, media o una hora que ocurra de acuerdo a la información de la curva.

8.5.5. Carga promedio o demanda promedio W_{prom}

. Resulta de dividir la energía total producida en un periodo correspondiente entre el valor del periodo. Es equivalente a convertir el área de la curva en un rectángulo cuya base tiene la longitud del periodo y la altura es la carga promedio.

$$W_{prom} = \frac{E_d}{\Delta t} \quad (8.6)$$

Dicho de otra forma es el valor de la potencia que, para el mismo periodo Δt de la curva de carga o de demanda, hace un rectángulo de área igual a la debajo de la curva correspondiente.

8.6. Índices del comportamiento de la carga

8.6.1. Relación: (carga mínima / carga máxima) f_m

Es el factor que resulta dividir el valor mínimo y máximo de la curva. Puede ser un índice de la estabilidad de la curva de carga.

$$f_m = \frac{W_{min}}{W_{max}} \quad (8.7)$$

8.6.2. Coeficiente de tiempo de servicio C_d

es la fracción entre el tiempo de trabajo de la planta y las 24 horas del día. Es un índice de que tanto se usa la planta que satisface la carga.

$$C_d = \frac{\Delta T_{trabajo}}{24_{horas}} \quad (8.8)$$

8.6.3. Carga media

Es el área de la curva de carga dividida entre el periodo de trabajo

$$W_{prom} = \frac{E_d}{\Delta T_{trabajo}} = \frac{\int_0^{\Delta T_{trabajo}} W \partial t}{24 C_d} \quad (8.9)$$

8.6.4. Relación de carga o relación entre las cargas máximas y promedio

La carga promedio tal como se definió como la altura de un rectángulo que hace su área igual a la de la energía producida en el mismo periodo de trabajo ΔT en la curva correspondiente.

$$f_c = \frac{W_{max}}{W_{prom}} \quad (8.10)$$

8.6.5. Coeficiente de carga media

es la relación entre la carga media y la carga máxima.

$$f_{med} = \frac{W_{prom}}{W_{max}} \quad (8.11)$$

8.6.6. Coeficiente de utilización de la carga máxima

es la relación entre la carga total y la carga que se generaría si funcionase en un periodo de 24 horas con la carga máxima

$$E_d = \int_0^{\Delta T_{trabajo}} W \partial t \quad (8.12)$$

$$E_d^{max} = \int_0^{24horas} W_{max} \partial t = 24W_{max} \quad (8.13)$$

$$g_{max} = \frac{E_d}{E_d^{max}} = C_d f_{med} \quad (8.14)$$

$$(E_d^{max})^{\Delta T_{trabajo}} = W_{max} \Delta t \quad (8.15)$$

8.6.7. Tiempo de utilización de la carga máxima

o tiempo necesario para que la carga máxima produzca a la carga total.

$$t_{max} = \frac{E_d}{W_{max}} = 24C_d? \quad (8.16)$$

Utilizando las relaciones anteriores se nota que:

$$g_{max} = \frac{t_{max}}{24horas} \quad (8.17)$$

8.6.8. Factor de carga

es la relación entre la carga promedio y la carga pico especificada.

$$F_c = \frac{W_{prom}}{W_{pico}} \quad (8.18)$$

Estos índices también se definen para el caso de las curvas mensuales y anuales (en este caso el subíndice d se cambia por a) . En el caso de las anuales tienen un especial uso en el diseño y rediseño de una planta.

8.6.9. Potencia instalada

Es la potencia de la planta después del diseño, la compra e instalación de los equipos de la misma y acorde con la capacidad de todos ellos y su funcionamiento mancomunado.

8.6.10. Coeficiente de reserva

o relación entre la carga instalada y la carga máxima.

$$\rho = \frac{W_{instalada}}{W_{max}} \quad (8.19)$$

8.6.11. Tiempo de utilización de la potencia instalada

o tiempo que debe funcionar la planta operando a la potencia instalada para suplir la carga total.

$$t_{inst} = \frac{E_a}{W_{inst}} = \frac{E_a}{\rho W_{max}} = g_{max} \frac{t_{max}}{\rho} \quad (8.20)$$

8.6.12. Coeficiente de utilización de la carga instalada

, definido en forma semejante al ya definido para la carga máxima. En este caso se usa el periodo de trabajo anual de la planta.

$$g_{inst} = \frac{t_{inst}}{\Delta T_a} \quad (8.21)$$

8.7. Curva de duración de la carga /Demanda

Tambien significa curva de utilización de la carga. Se debe tener presente que se puede referir a una o a otra potencia (carga o demanda). Esta curva se construye a partir de contabilizar para todas las curvas de carga (o de demanda). De lo que se trata es consignar durante cuanto tiempo en el año cada carga es utilizada. La información se puede preparar en una tabla semejante a la siguiente:(con la información se construye la gráfica de duración de carga respectiva).

De la curva se puede saber que una carga de 38 (Mwatts o Kwatts) se solicita 100 horas en el año. O por otro lado esta misma carga es consumida o solicitada el 1.14 % del año y que el 1.14 % del año se usa el 100 % de la carga máxima.

El área bajo la curva es además la carga total anual (o la demanda anual).

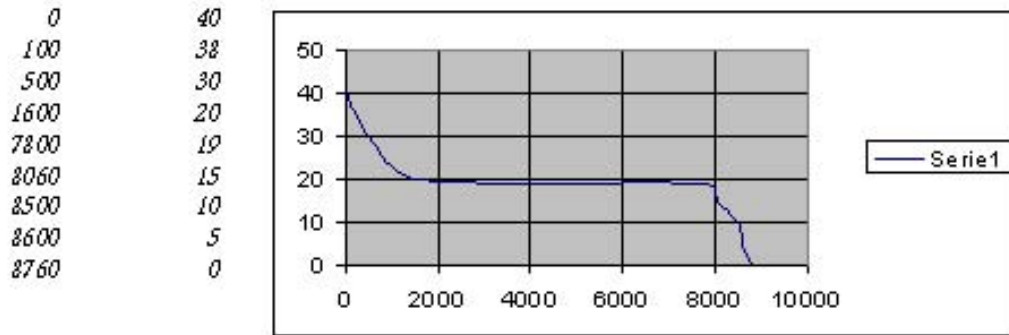


Figura 8.2: Curva de utilización de la carga / demanda

Esta curva es muy útil a la hora de dimensionar una planta y permite mayor claridad en los análisis de decisión político-económico-técnico-ambientales. Para eso se definen unos parámetros que pueden facilitar decisiones con respecto a la potencia a instalar. Unos de esos parámetros son:

1. Porcentaje de uso de la carga: $\%t_A = 100 \frac{t_A}{8760}$
2. Porcentaje de la carga máxima que se usa durante t_A . $\%W_A = \frac{W_A}{W_{max}}$

8.8. La carga de diseño y la carga instalada

Aunque muy semejantes estos dos términos tienen diferencia sustancial. La carga de diseño se refiere al valor adoptado de potencia para hacer los cálculos, mientras que la potencia instalada se refiere al valor de potencia nominal de los equipos montados en la planta. Muchas veces coinciden pero en muchos casos son diferentes. Puede ser que la potencia instalada sea menor o mayor que la usada en los cálculos. Ambas tienen que ver con la mejor opción para satisfacer una demanda, presente o futura. Su escogencia es la conciliación de tendencias técnicas, económicas, políticas y ambientales.

Como la selección de las potencias de diseño e instalada resulta de argumentaciones desde ópticas políticas, económicas y técnico ambiental, muchas veces contradictorias, se deben consultar algunos índices para guiar la argumentación. Puede servir valores de: %satisfacción de la demanda, factor de uso, factor de capacidad, % tiempo uso de la carga, % de la carga máxima.

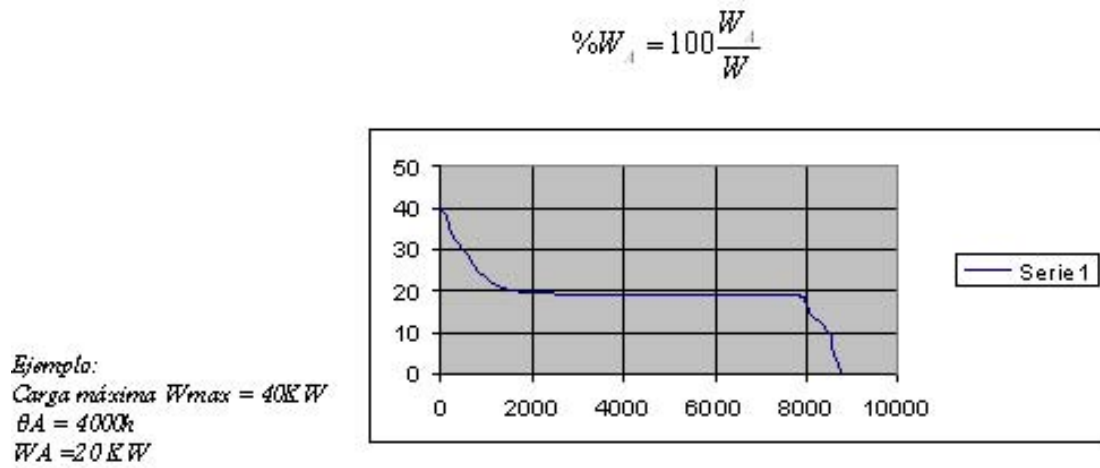


Figura 8.3: Ejemplo de curva de carga

8.8.1. Potencia de diseño W_{dise}

Es la escogida para el cálculo de los elementos de la planta.

8.8.2. Potencia instalada W_{inst}

. Es la nominal que producen todos los equipos seleccionados e instalados en una planta y trabajando organizados en sistemas.

8.8.3. Capacidad de la carga instalada

$$E_{cap}^{\Delta t} = W_{inst} \Delta t \quad (8.22)$$

8.8.4. Energía total instalada

. Es el producto entre la potencia instalada por el correspondiente período de generación (Δt de 24h, 30h, 8760h)

$$E_{inst} = \int_0^{\Delta t} W_{inst} \partial t = W_{inst} \Delta t = E_{cap}^{\Delta t} \quad (8.23)$$

0	5
1	5
2	7
3	7
4	8
5	9
6	15
7	23
8	25
9	23
10	32
11	35
12	42
13	25
14	32
15	25
16	35
17	24
18	30
19	35
20	40
21	12
22	7
23	7
24	5

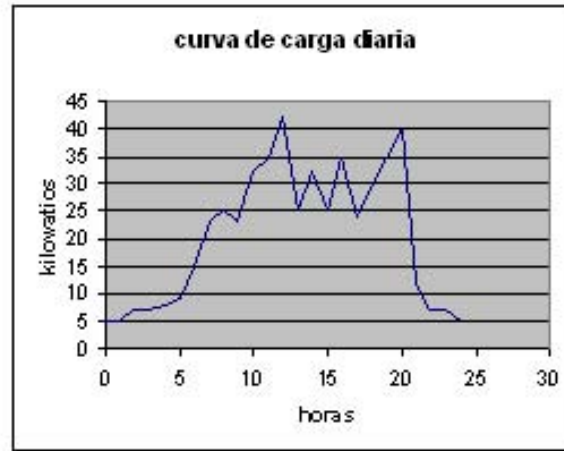


Figura 8.4: Curva diaria de carga

8.8.5. Energía demandada

Es el área bajo la curva de demanda

$$E_{deman}^{\Delta t} = \int_0^{\Delta t} W \partial t \quad (8.24)$$

8.8.6. Carga media Kw_{med}

es el valor que resulta de dividir la demanda de energía entre el periodo

8.8.7. Factor de uso FU

Es la relación entre el promedio de la carga (KW_{med}) y la carga instalada.

$$FU = \frac{W_{prom}}{W_{instalada}} \quad (8.25)$$

Existe otro factor de uso definido como aquella fracción de la energía demandada, o energía satisfecha, (área de la curva de demanda que está por debajo de la carga instalada) que la potencia instalada es capaz de satisfacer sobre el periodo de tiempo considerado.

$$fu = \frac{E_{satisfecha}^d}{W_{instalada} \Delta t} \quad (8.26)$$

8.8.8. Factor de capacidad FCA

Es un índice de la reserva de potencia que existe en una planta instalada o que existiría en una proyectada. Se define como la relación entre la capacidad de energía producida realmente por la potencia instalada y la cantidad máxima de energía que se hubiera producido en el mismo periodo. Así en el caso de un año la capacidad anual serán los KW h producidos durante el año (área bajo la curva de demanda o de carga anual que queda cubierta y debajo de la carga instalada- o intersección entre el rectángulo de Kw_{inst} y la curva de carga Kw_{inst} 7 KW-) divididos entre el numero de horas del año multiplicados por la capacidad instalada. De forma semejante en el caso del factor de capacidad diario. En algunos casos este factor coincide con el anterior.

$$FCA = \frac{E_{prod}^{\Delta t}}{W_{inst} \Delta t} \quad (8.27)$$

8.8.9. Otros factores de carga

se definen en un periodo dado, como:

$$FCA = \frac{E_{deman}}{E_{inst}} \quad (8.28)$$

$$FCA = \frac{E_{uso}}{E_{inst}} \quad (8.29)$$

O sus inversos.

Por lo visto con las definiciones de los índices se debe aclarar de antemano cual es el que se usa de forma tal que no se presenten confusiones y los cálculos puedan ser comparados.

8.8.10. % satisfacción de la demanda

El área de la curva de carga que queda cubierta por la potencia instalada es la demanda satisfecha $E_{satisfecha}$ Un índice de qué tanto una demanda de energía queda satisfecha, es el factor que resulta de dividir $E_{satisfecha}$ entre toda la demanda (área bajo toda la curva de demanda) multiplicada por 100.

$$\%SD = 100 \frac{E_{satisficha}^d}{E_d}$$

$$\%SD = 100 \frac{E_{satisficha}^{\Delta \delta}}{E_d}$$

O en el caso anual:

$$\%SD = 100 \frac{E_{satisficha}^A}{E_A}$$

Ejemplo:

Dada la curva siguiente determine:

1. Carga pico
2. Demanda de energía
3. Carga promedio
4. Factor de carga

Si la carga instalada es 100 KW determine:

1. Factor de uso
2. Factor de capacidad
3. % satisfacción de la demanda

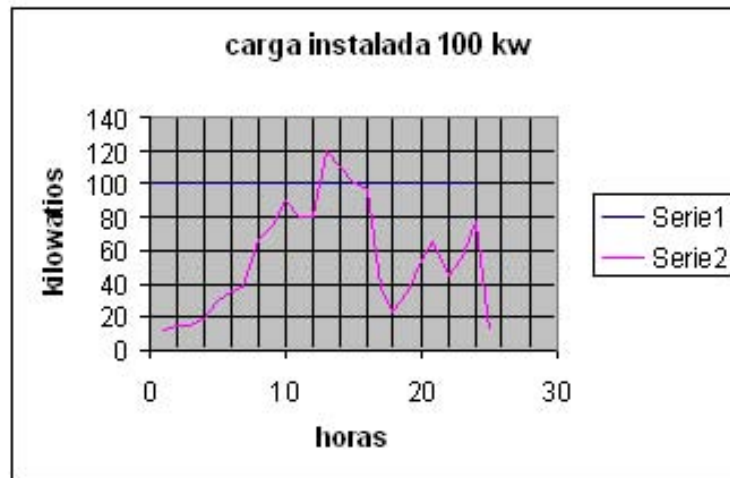


Figura 8.5: Ejemplo

8.9. La potencia de diseño

En relación con el interés ingenieril en las plantas de generación de exergía, la intención puede ser dimensionarla, (establecer su tamaño y el de sus componentes para que pueda generar una determinada potencia denominada Potencia de diseño,) Chequearla, (partiendo de una dimensión ya establecida determinar cuanta potencia es capaz de generar. Un interés adicional puede ser el evaluar una fuente de energía para saber cuanta potencia se le puede extraer. Ésta se debe escoger con un buen juicio que consulte interés desde la óptica técnica, económica política y ambiental.

En el caso de del dimensionamiento de una planta los pasos a seguir serían los siguientes:

1. Establecer la curva de demanda.
2. Establecer la curva de carga
3. Establecer la curva de duración de la carga o de la demanda.
4. Definir los índices de: % de duración de la demanda o de la carga, % de carga o demanda máxima y el % de satisfacer de la demanda.
5. Seleccionar la potencia de diseño.

Potencia a generar o generada (o carga) es la resultante de tener en cuenta además todas las pérdidas aplicadas al flujo de energía suministrada y que aparece en la curva de demanda. En la práctica es la curva de demanda afectada por un factor que tiene en cuenta las pérdidas:

$$Pot_{generar} = \dot{E}_{suministrar} + \sum \dot{E}_{perdidas} \quad (8.30)$$

$$Pot_{generar} = \prod \eta_i \dot{E}_{suministrar} \quad (8.31)$$

$\prod \eta_i$ es la eficiencia total del sistema de distribución.

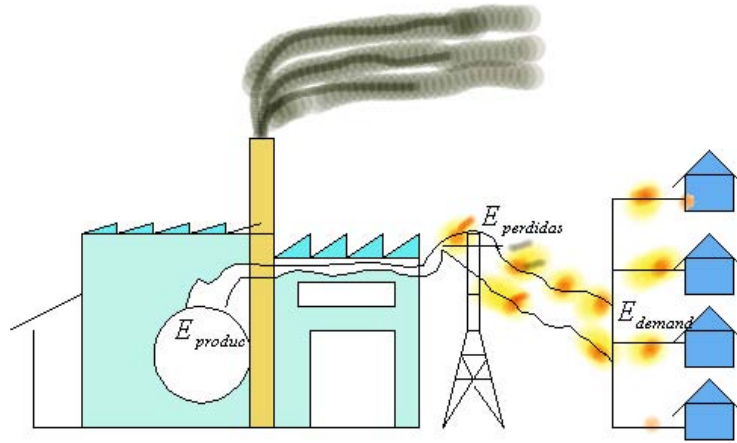


Figura 8.6: La carga de la planta es la demanda más las pérdidas

Capítulo 9

Valoración de la fuente

Una de las actividades fundamentales en la ingeniería de las plantas se dedica a saber cuánto recurso energético se tiene disponible y cuanto de él es aprovechable.

Ya se estudió cuales y donde están los recursos: sol, litosfera, hidrosfera, atmosfera, biosfera y socioesfera.

El comportamiento de la fuente de energía está sujeta a incontinencias. La radiación del sol por ejemplo tiene un comportamiento estacional (depende de la época del año) y variable (depende de la hora del día). Similarmente puede ocurrir con el viento, el agua, la biomasa etc.

Las fuentes por su comportamiento pueden ser: Constantes y no constantes. Las no constantes pueden cambiar estacionalmente y/o durante el día. Las primeras son estacionales y las segundas son variables. Las fuentes estacionales y variables están sujetas también en muchos casos cambios súbitos mas o menos no previstos en corto tiempo.

La valoración de los **recursos energéticos aprovechables** se hace por diversas técnicas y procedimientos dependiendo de la naturaleza de la fuente, que permiten valorar en términos de energía la densidad o la totalidad del recurso. No es lo mismo un recurso de un combustible fósil, casi no sujeto a las incontinencias del estado del tiempo, a uno renovable que puede ser estacional y variable.

El que un recurso exista lo hace calificable de **recurso disponible** unas condiciones adicionales como su costo de extracción, su costo ambiental y social etc hacen que pueda ser un **aprovechable** o no.

Consideraciones técnicas sociales, económicas, políticas, de transportabilidad, de almacenamiento etc. son importantes a la hora de la evaluación del recurso para saber si es aprovechable.

9.1. Valoración de fuentes estacionales

Éstas son fuentes que su comportamiento depende de la época del año. La época de lluvias incide en la disponibilidad de energía hidráulica. El verano y el otoño en el viento.

En el caso de fuentes estacionales se hacen importantes las curvas de su comportamiento en términos de potencia disponible unitaria contra día durante el año.

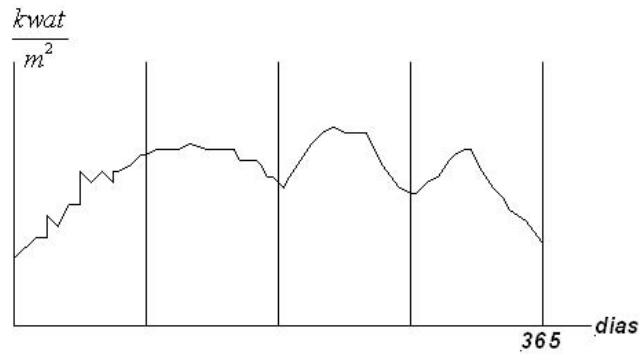


Figura 9.1: Ejemplo del comportamiento estacional de una fuente

Tomando como ejemplo el viento, tiene un comportamiento estacional y además variable. En Primavera, Verano, Otoño e Invierno los vientos tienen una magnitud diferente. Y durante el día también varían.

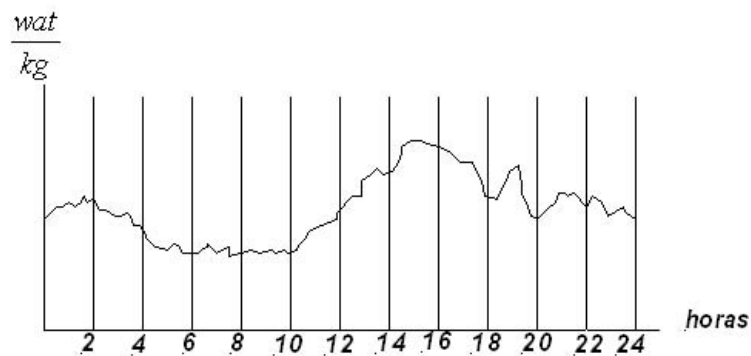


Figura 9.2: Comportamiento variable de una fuente

En los graficos en relación al viento como fuente de energía es claro que no toda la energía eólica disponible la que será aprovechable. Cuanto es el área con que se calcula la energía eólica disponible y hasta cuanto se llega con el area para captar la aprovechable?.

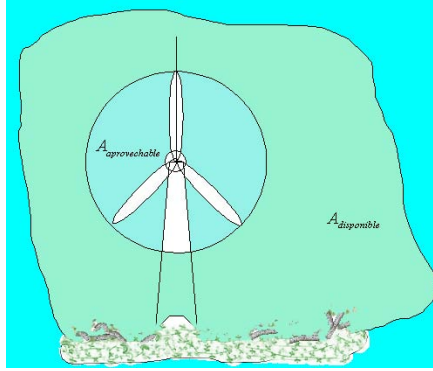


Figura 9.3: Áreas para valorar la energía disponible y aprovechable

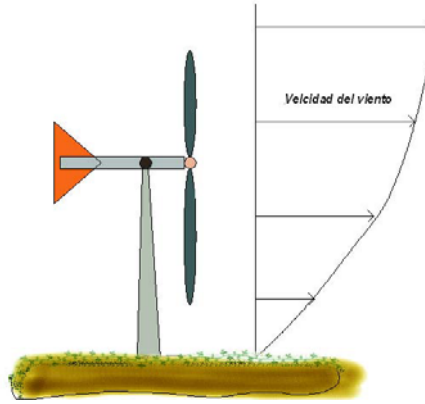


Figura 9.4: Comportamiento de la velocidad del viento cerca a la superficie terrestre

$$e_{eolica} = \frac{\delta E_{eolica}}{\delta m} = \frac{V^2}{2} \quad (9.1)$$

$$\Rightarrow \dot{E}_{eolica} \dot{m} \frac{V^2}{2} = \int_A \rho V dA \quad (9.2)$$

Capítulo 10

Fundamentación teórica

Una planta de generación de Exergía es un conjunto de sistemas encaminados coordinadamente a contribuir en la obtención de energía útil, (Exergía en forma mecánica o eléctrica).

La forma de exergía más fácil de transportar a largas distancias es la energía eléctrica que va por redes de conductores normalmente a alta tensión.

Las plantas son entonces un complejo de sistemas que en su operación continuamente están intercambiando energía y materia. En esos procesos de intercambio transforman energía y materia, degradan energía y producen descargas tanto de materiales como de Energía.

Para el análisis de una planta o de un sistema o de una porción particular de la misma se debe consultar las leyes fundamentales de naturaleza en particular de la materia y de la energía: análisis de masa, de Energía, de Entropía, de Exergía y Anergía y realizar los estudios técnicos - economicos y ambientales.

10.1. Análisis de masa o balance de materia

Fundamentado en el principio de conservación de la materia.

Una masa M , no variará a no ser que se le añada o extraiga materia. En forma diferencial: es la pequeña cantidad de masa que entra y la que sale y que producen un pequeño cambio, cambio diferencial, de la masa almacenada dM

$$dM_{sistema} = \delta m_{entra} - \delta m_{sale} \quad (10.1)$$

si existen muchas entradas y salidas:

$$dM_{sistema} = \sum_{sistema} dM = \sum_{entra} \delta m - \sum_{sale} \delta m \quad (10.2)$$

Para el caso de intercambio de masa fluidas será más práctico plantear en términos de flujos másicos:

$$\frac{dM}{dt}_{sistema} = \sum_{entra} \dot{m} - \sum_{sale} \dot{m} \quad (10.3)$$



Figura 10.1: Analisis de masa de un sistema

10.2. Análisis de Energía

es basado en el principio de conservación de la energía a nivel macroscópico. Su expresión es semejante a la anteriormente escrita pero referida a la energía E encerrada o que pertenece al sistema o volumen de control considerado. Su cambio dE es debido exclusivamente a entradas y salidas de energía δE .

$$dE = \delta E_{entra} - \delta E_{sale} \quad (10.4)$$

o si con varias entradas y salidas:

$$dE = \sum_{sistema} dE = \sum_{entra} \delta E - \sum_{sale} \delta E \quad (10.5)$$

$$(10.6)$$

O considerando los flujos de energía:

$$\frac{dE}{dt} = \sum_{sistema} \frac{dE}{dt} = \sum_{entra} \dot{E} - \sum_{sale} \dot{E} \quad (10.7)$$

La energía puede entrar y salir adoptando diversas formas, unas con masa y otras sin ella, como trabajo de eje W, trabajo de expansión L y calor Q y un sistema sólo puede poseer Energías asociadas con masa (Energía cinética, potencial, química, interna y atómica).

Así las energías que entran o salen pueden hacerlo asociadas *con las masas* (cinética potencial, química, interna, trabajo de flujo, atómica) o *sin estar asociadas a ningún tipo de masa* como calor Q, electromagnética EM, trabajo de expansión L o de rotación W. Si e (energías: cinética, potencial química, interna, atómica y de flujo) es la energía por unidad de masa, δm es la masa, y δQ es calor neto, δL trabajo de expansión, δW trabajo de eje o de rotación.

$$dE_{sistema} = \sum_{entran} \delta me - \sum_{salen} \delta me + \delta Q + \delta L + \delta W \quad (10.8)$$

$$M \left(\frac{V^2}{2} + gZ + u + eq + eat \right)_{sistema} =$$

$$[\delta m (ec + ep + eq + pv + u + eat +) + \delta Q + \delta L + \delta W]_{entran} -$$

$$[\delta m (ec + ep + eq + pv + u + eat +) + \delta Q + \delta L + \delta W]_{salen}$$

$$\frac{dE}{dt}_{Sistema} = \sum_{Entra} \dot{m}e_{entra} - \sum_{Sale} \dot{m}e_{sale} + (\dot{Q} + \dot{L} + \dot{W})_{Entra} - (\dot{Q} + \dot{L} + \dot{W})_{Sale} \quad (10.9)$$

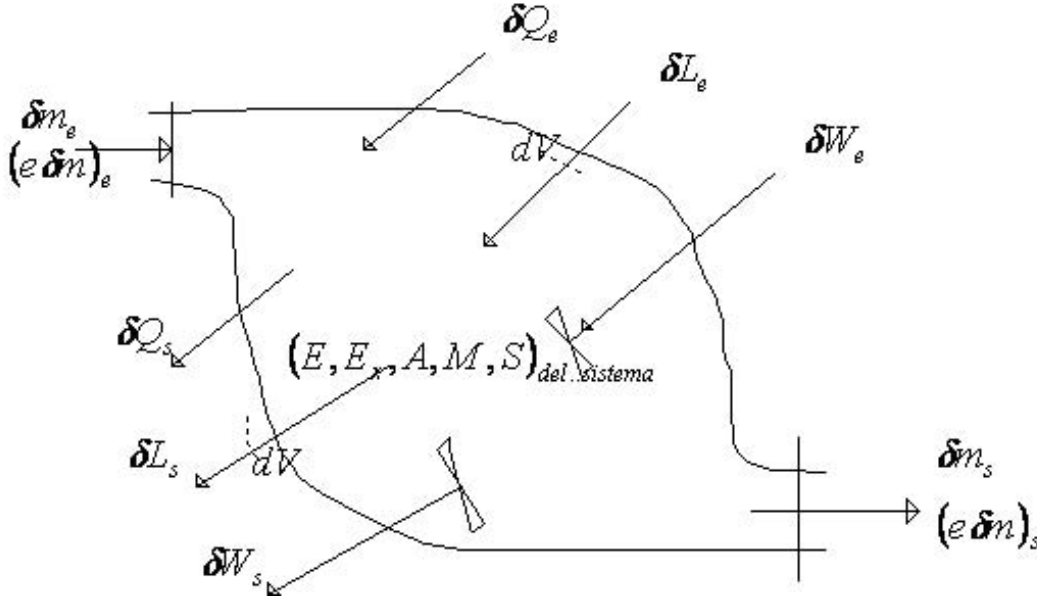


Figura 10.2: Analisis de Energía para un sistema

$$e_{entra} = (e_c + e_p + eq + eat)_{entra} \quad (10.10)$$

$$e_{sale} = (e_c + e_p + eq + eat)_{sale} \quad (10.11)$$

Si fueran flujos de energía, acompañando flujos de masa: $\dot{m} = \frac{\delta m}{dt}$ (flujo másico) $\dot{E} = \frac{\delta E}{dt}$ (flujo de Energía)

10.3. Analisis de Entropía

La energía tiende espontáneamente del orden al desorden degradándose. En termodinámica esto se tiene en cuenta con el aumento de la entropía S , la entropía aumentará espontáneamente. La entropía se define con la siguiente relación:

$$dS = \frac{\delta Q}{T_{reversible}} \quad (10.12)$$

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T_{reversible}} \quad (10.13)$$

$$d \begin{pmatrix} E_c \\ E_p \\ E_q \\ E_{at} \\ U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta m \\ \delta m \\ \delta m \\ \delta m \\ \delta Q \\ \delta L \\ \delta W \end{pmatrix}_{entrar} \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ pv \\ u \\ e_q \\ e_{at} \end{pmatrix}_e - \begin{pmatrix} \delta m \\ \delta m \\ \delta m \\ \delta m \\ \delta Q \\ \delta L \\ \delta W \end{pmatrix}_{salen} \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ pv \\ u \\ e_q \\ e_{at} \end{pmatrix}_s$$

Figura 10.3: Ecuación de analisis de Energía

El análisis de entropía se plantea:

$$dS = \sum_{entran} s \delta m \sum_{salen} s \delta m + \frac{\delta Q_{entra}}{T} + \delta S_{generada} - \frac{\delta Q_{sale}}{T} \quad (10.14)$$

Y para los flujos el analisis de entropía:

$$\frac{dS}{dt} = \sum_{entran} s \dot{m} + \sum_{salen} s \dot{m} + \frac{\dot{Q}_{entra}}{T} + \dot{S}_{generada} - \frac{\dot{Q}_{sale}}{T} \quad (10.15)$$

La Energía es la suma de una parte exergética y la otra anergética:

$$E = E_x + A \quad (10.16)$$

$$\delta E = \delta E_x + \delta A \quad (10.17)$$

De acuerdo con la segunda ley de termodinámica la energía durante los procesos pierde calidad o lo que representado en ecuaciones significa que durante un proceso la Anergía y la Entropía se generan y la Exergía se degrada:

Para la Entropía:

$$dS = \delta S_{entra} - \delta S_{sale} + \delta S_{generada} \quad (10.18)$$

$$d \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} E_c \\ E_p \\ E_q \\ E_{az} \\ U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ pv \\ u \\ e_q \\ e_{az} \end{pmatrix}_e \\ \begin{pmatrix} 0 \\ Q \\ 0 \\ L \\ 0 \\ W \end{pmatrix} \end{pmatrix}_{\text{entran}} - \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ pv \\ u \\ e_q \\ e_{az} \end{pmatrix}_s \\ \begin{pmatrix} 0 \\ Q \\ 0 \\ L \\ 0 \\ W \end{pmatrix} \end{pmatrix}_{\text{salen}}$$

Figura 10.4: Analisis de flujos de Energía

Para la Anergía:

$$dA = \delta A_{entra} - \delta A_{sale} + \delta A_{generada} \quad (10.19)$$

En los flujos de masa y Anergía

$$\frac{dA}{dt} = \sum_{entran} a\dot{m} + \sum_{salen} a\dot{m} + \dot{A}_{entran}^Q + \dot{A}_{generada} + \dot{A}_{salen}^Q \quad (10.20)$$

En la ecuación anterior \dot{A}_{entran}^Q y \dot{A}_{salen}^Q son los flujos de Anergías que entran y salen con los flujos de calor \dot{Q}_{entra} y \dot{Q}_{sale} .

Y para la Exergía:

$$dE_x = \delta E_{xentra} - \delta E_{xsale} - \delta E_{xdegrad} \quad (10.21)$$

Igualmente para los flujos de masa y Exergía:

$$\frac{dE_x}{dt} = \sum_{entran} e_x \dot{m} + \sum_{salen} e_x \dot{m} + \dot{E}_{xentran}^Q - \dot{E}_{xdegrad} + \dot{E}_{xsalen}^Q \quad (10.22)$$

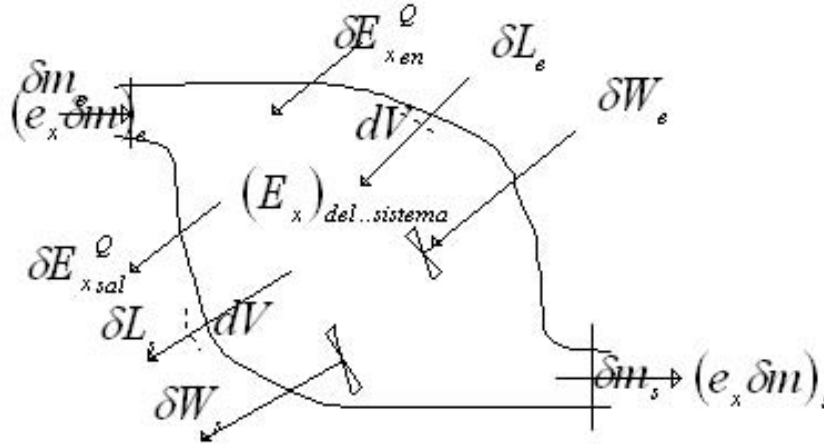


Figura 10.5: Análisis de Exergía de un sistema

Donde: $\dot{E}_{x,entran}^Q$ y $\dot{E}_{x,salen}^Q$ son los flujos de Exergías que entran y salen con los flujos de calor \dot{Q}_{entra} y \dot{Q}_{sale} .

Y la ecuación 11.4 de conservación de la energía debería escribirse más exactamente (recordando que la Exergía y la Anergía son Energías y no la Entropía):

$$d(E_x + A) = \delta(E_x + A)_{entra} - \delta(E_x + A)_{sale} + \delta A_{generada} - \delta Ex_{degrad} \quad (10.23)$$

Y para que la ley de conservación de la energía se cumpla:

$$0 = \delta A_{generada} - \delta Ex_{degrad} \quad (10.24)$$

$$0 = \sum \delta A_{generada} - \sum \delta Ex_{degrad} \quad (10.25)$$

o en los flujos:

$$0 = \sum \dot{A}_{generada} - \sum \dot{Ex}_{degrad} \quad (10.26)$$

Las entradas y salidas de Anergía y Exergía deben extenderse a las asociadas con las masas y las que no lo estén asociadas a ella. (ecuaciones 11.14, 11.15 y 11.17)

Una planta de generación de Exergía está indisolublemente ligada con su entorno. De su medio ambiente se surte y hacia él van sus descargas y sobrantes. El buen diseño

y/o mal funcionamiento de la misma tiene consecuencias directas sobre la naturaleza. La fauna y flora macro y micro recibirán los impactos.

Una planta ineficiente consumirá más inoficiosamente, y por lo tanto exigirá más de la fuente, y descargará más al medio ambiente. Una planta de generación es algo artificial y por lo tanto ajena al ambiente original y consecuentemente, su sola presencia es una alteración al orden natural. Su funcionamiento alterará la composición física química y biológica del lugar y debido a las cadenas de transporte y de equilibrio atmosférico, alterará más allá de la propia ubicación local de la instalación. El calentamiento global, la lluvia ácida son ejemplo de estas consecuencias no locales.

Una concepción más exacta del funcionamiento de una planta de generación debe involucrar la planta con el medioambiente cuyo esquema podría ser semejante a los siguientes, en los que se ve el medioambiente cobijando a la planta e intercambiando masa y energía tal como se ha venido planteando.

10.4. Cálculos de valores de Exergía

Las Energías mecánicas, cinética y potencial, y la energía eléctrica son Exergía, la exería contenida en una cantidad de calor se determina por la cantidad de trabajo máximo que de ella se pueda obtener. Lo que nos hace retornar a la máquina de Carnot reversible.

10.4.1. Exergía de una corriente de fluido

Un flujo es una corriente de un fluido y por lo tanto es una corriente de un material. Debe poseer entonces energías cinética, potencial química, atómica, interna y debe recibir para circular un trabajo de flujo (éstos se combinan en la entalpía).

Determinándolas por unidad de masa de fluido la exergía será la exergía por unidad de masa que circula e_x

$$e_x = e_x^{eq} + e_x^{eat} + \frac{V^2}{2} + g(z - z_o) + (h - h_o) + T_o(s - s_o) \quad (10.27)$$

Donde:

- e_x Es la Exergía por unidad de masa total del flujo considerado

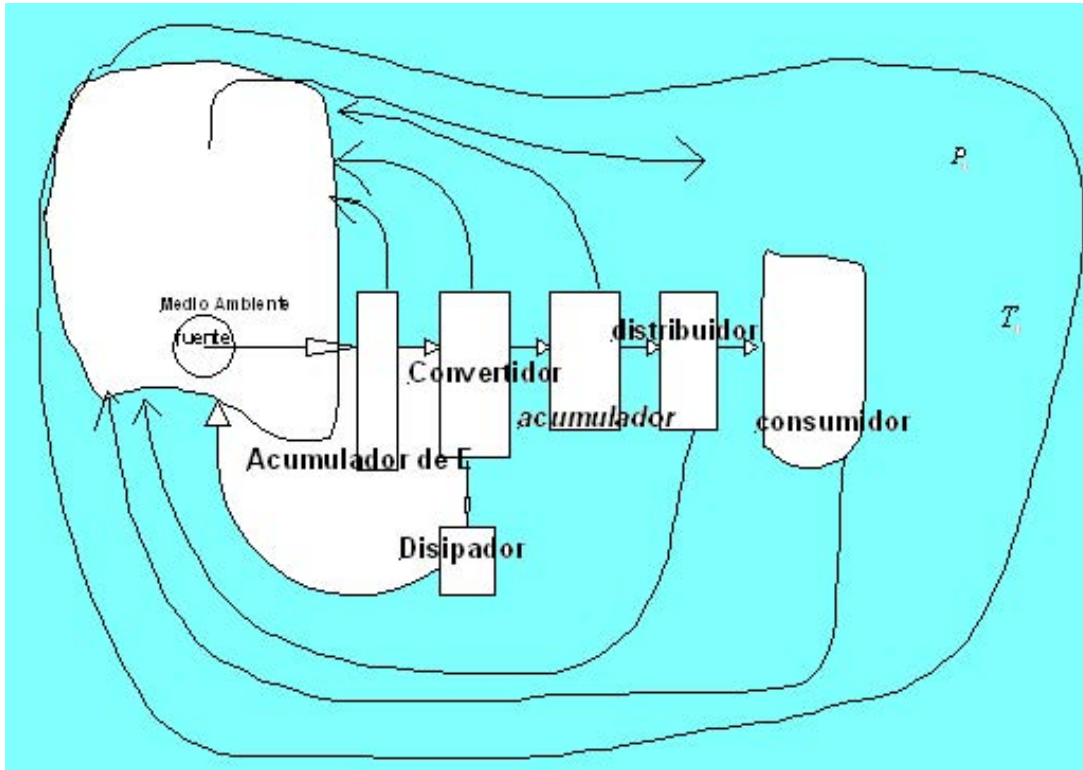


Figura 10.6: Interacción de los sistemas de una planta y el medio ambiente a T_o y P_o

- e_x^{eq} de la energía química que posea la masa
- e_x^{eat} de la energía atómica.
- $\frac{V^2}{2}$ de la energía cinética.
- $g(z - z_o)$ de la energía potencial
- $T_o(s - s_o)$ descargada al universo.

10.4.2. Exergía de un sistema cerrado

Un sistema cerrado contiene energía interna, potencial cinética, química, atómica y cada una de ellas será la suma de exergía y anergía, tal como hemos venido considerando.

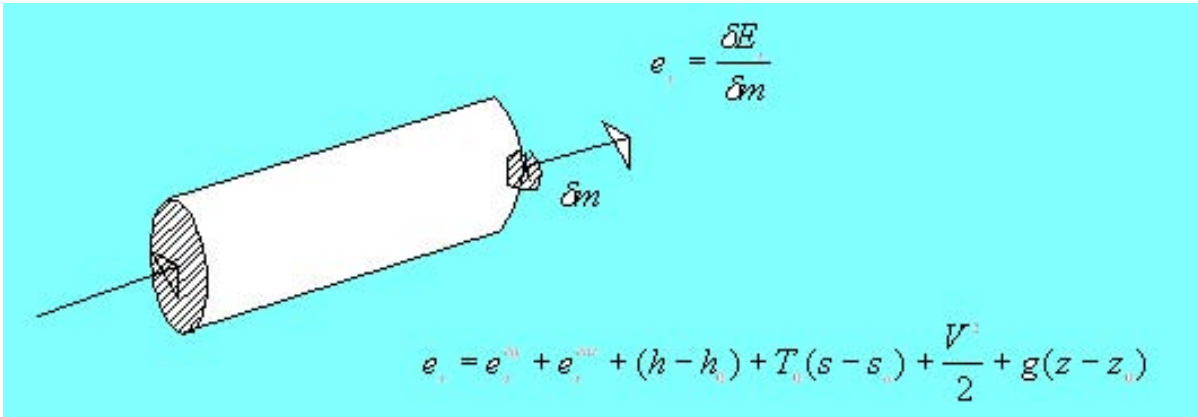


Figura 10.7: Exergía específica del flujo

Las Exergías de un sistema cerrado correspondientes a éstas son:

$$E_x = E_x^{eq} + E_x^{cat} + m \frac{V^2}{2} + mg(z - z_o) + (U - U_o) + P_o(V - V_o) + T_o(S - S_o) \quad (10.28)$$

Donde los términos tienen el mismo significado que en el caso de las exergías del flujo pero en éste caso son exergías totales. El término m es la masa encerrada en el sistema cerrado.

En el caso de varios cuerpos encerrados en el mismo sistema:

$$E_x = \sum_i^N E_{xi} = \quad (10.29)$$

N es el número de cuerpos en el sistema y que desarrollada quedará $(\sum_i^N E_{xi} =$

$$\sum_i^N \left(E_x^{eq} + E_x^{cat} + m \frac{V^2}{2} + mg(z - z_o) + (U - U_o) + P_o(V - V_o) + T_o(S - S_o) \right)_i$$

T_o , P_o son la temperatura y la presión del medio ambiente y V_o y S_o el volumen y entropía del sistema cuando alcance el equilibrio con el medio ambiente. Z_o y Z son las alturas de un nivel de referencia y del sistema

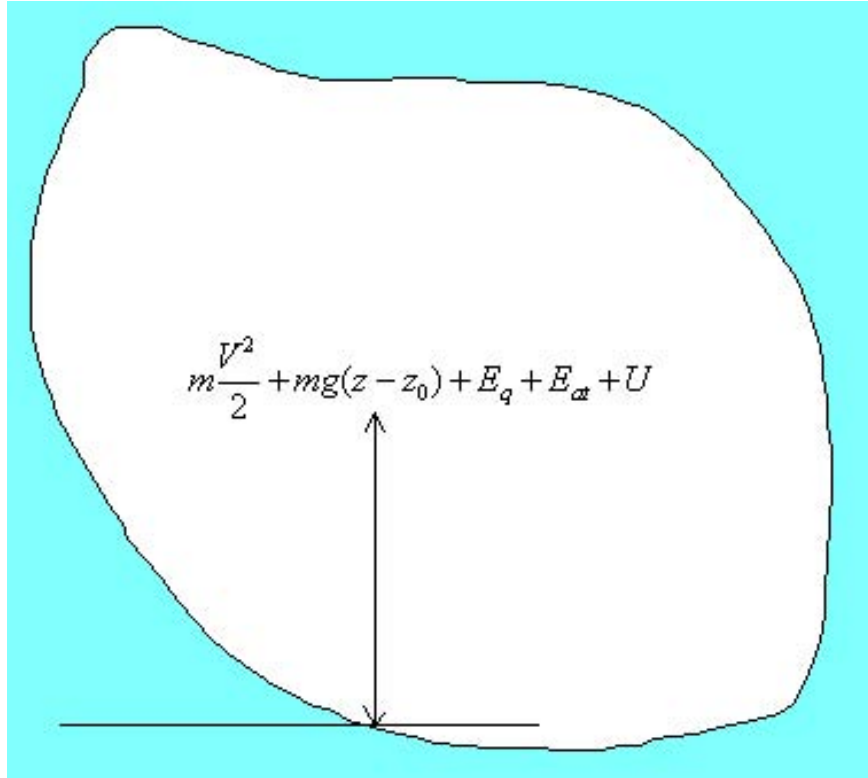


Figura 10.8: Energías de un sistema cerrado

10.4.3. Exergía de una fuente de calor

Una fuente de calor puede suministrar energía en forma de calor sin que su temperatura se altere en el proceso. Un sumidero puede recibir calor sin que se altere su temperatura en el proceso.

Las fuentes de calor y los sumideros son importantes en el caso de las máquinas térmicas reversibles puesto que éstos exigen que el suministro y la descarga de calor se haga a temperaturas constantes pues diferencias de temperaturas conllevan necesariamente irreversibilidades.[1]

El contenido de Exergía de una fuente de calor es la cantidad máxima de trabajo que se le puede obtener cuando suministra calor a una máquina reversible que descarga a la atmósfera, su Exergía se calcula con una máquina de Carnot reversible que trabaja entre T y la temperatura de la atmósfera a T_o

$$\delta E_x = \delta Q \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \quad (10.30)$$

$$E_x = Q \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \quad (10.31)$$

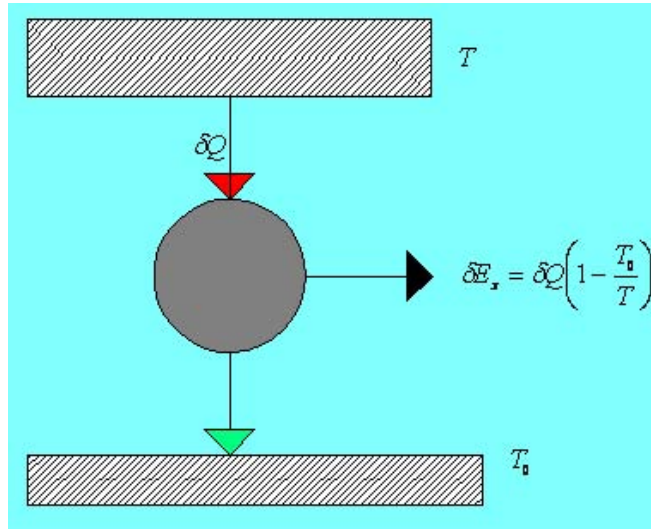


Figura 10.9: Exergía de una fuente de calor que descarga a la atmósfera a T_o

10.4.4. Exergía de un combustible

Cuando arde gradualmente a la atmósfera a T_o y P_o una masa de combustible δm_{co} libera una cantidad de calor δQ_{co} igual a la masa por el poder calorífico PC . En esas condiciones las ecuaciones que se pueden establecer son:

$$\delta Q_{co} = PC \delta m_{co} \quad (10.32)$$

$$\delta(E_x)_{co} = \delta Q_{co} \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) dT = PC \delta m_{co} \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) dT \quad (10.33)$$

$$\frac{\delta E_x^{co}}{\delta m_{co} dT} = PC \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) = \delta e_x^{co} \quad (10.34)$$

Aquí δe_x^{co} es la Exergía contenida a la temperatura T por unidad de masa de combustible.

La Exergía por unidad de masa de combustible *hasta la temperatura T* será:

$$e_{x_T}^{co} = \int_{T_o}^T \delta e_x^{co} dT = PC \int_{T_o}^T \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) dT \quad (10.35)$$

La exergía contenida en un Kg de combustible:

$$e_x = PC \left(1 - \frac{T_o}{T_{comb}}\right) \quad (10.36)$$

T_0 es la temperatura del ambiental y T_{comb} la de la combustión. La temperatura de la combustión se puede calcular a partir de las relaciones que siguen:

$$M_{co}PC = (M_{aire} + M_{comb}) \bar{C}_p (T_{comb} - T_0) \quad (10.37)$$

$$(10.38)$$

\Rightarrow

$$T_{comb} = \left(\frac{M_{com}}{M_{aire} + M_{comb}}\right) \frac{PC}{\bar{C}_p} + T_0 \quad (10.39)$$

$$T_{comb} = \left(\frac{1}{A/C} + 1\right) \frac{PC}{\bar{C}_p} + T_0 \quad (10.40)$$

El análisis del sistema tendrá en cuenta las entradas y salidas de todas la manifestaciones de Exergía que vienen a alterar la almacenada.

10.4.5. Exergía de la Energía Química

la Exergía que contiene la Energía química E_x^{eq} ha sido determinada y enlistada en relación a la formula molecular y las energías de formación.

10.4.6. Exergía de la Energía Atómica

De igual manera que en el caso de la exergía de la energía química la de la energía atómica E_x^{eat} se encuentra en libros de texto.

Las unidades de Exergía son las misma de la Energía Kjoule en el S.I. de unidades. Para el flujo de Exergía:

$$\dot{E} = \frac{\delta E_x}{dt} \quad (10.41)$$

$$\frac{KJoul}{seg} = Kwatt \quad (10.42)$$

$$\left[\begin{array}{c} e_c \\ e_p \\ \delta m (h - h_o) - T_o (s_o - s) \\ e_x^{eq} \\ e_x^{aif} \\ \delta Q \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \\ \delta W \\ \delta L \end{array} \right]_{Ent} - \left[\begin{array}{c} e_c \\ e_p \\ \delta m (h - h_c) - T_o (s_o - s) \\ e_x^{eq} \\ e_x^{aif} \\ \delta Q \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \\ \delta W \\ \delta L \end{array} \right]_{Sal} - \delta E_x^{degr} = d \left[\begin{array}{c} E_c \\ E_p \\ (U - U_o) - P_o (V_o - V) - T_o (S_o - S) \\ E_x^{eq} \\ E_x^{aif} \end{array} \right]_{Alm}$$

Figura 10.10: Analisis de Exergía

$$\delta E_x^{entra} + [\delta m (e_x)]_{entran} - [\delta m (e_x)]_{salen} - \delta E_x^{degr} = d (E_x)_{almacenada} \quad (10.43)$$

10.5. Índices de desempeño

Cuando se refiere a "Índices de desempeño" puede ser que se trate de índices:

1. de uso de materiales
2. energéticos
3. exergéticos
4. entrópico
5. anergético
6. ecológicos
7. económicos

10.5.1. Índices de desempeño global-Eficiencia global

Es un índice de que tan bien cumple una planta un determinado cometido o que tanto se aproxima a una meta especificada. Si es energético indica cuanta energía está transformando por cada unidad de energía suministrada o, en el caso de la eficiencia exergética, cuanta exergía de la que entró sale como exergía. Una planta óptimamente eficiente obtendría a la salida la cantidad de exergía contenida en el suministro y desecharía solo el contenido Anergético.

De semejante con respecto a los índices referidos a los otros aspectos mencionados arriba (Índices de desempeño).

Una planta de generación será sustentable si la naturaleza, el medio ambiente, tiene la capacidad de reciclar sus descargas, si los servicios ambientales son suficientes para que la naturaleza no se altere.

10.5.2. Índices locales

Para cada una de las partes que constituyen la planta se puede establecer índices que indican cómo está desempeñando a labor que se le asigna en los aspectos de interes.

Capítulo 11

Valoración del desempeño PGEx

La Exergía es la energía que mueve la técnica moderna y a movido desde la antigüedad todo lo que significa labor, fabricación de cosas, elaboración de artículos. La que le añade precio a las mercancías las que nos son sino materia prima transformada con la sustancial contribución de la Exergía añadida.

La diferencia entre un mango en el árbol y uno colocado en piso de pronto no esté en la calidad de la fruta que, con la acción de descolgarlo de la rama donde estaba prendido, no se le añadió ningún elemento bioquímico ni color. Está en la labor (trabajo) que se empleó en bajarlo en el trabajo mecánico que se hizo para ello. Ésa Exergía queda acumulada en la fruta del ejemplo en forma de valor económico. En el sobre valor que le dió la exergía empleada para arrancarlo del árbol y bajarlo al piso. Se puede intentar una ecuaciones que describan ello en la fruta del ejemplo.

11.1. En términos de masa

$$m_{inicial} = m_{final} \quad (11.1)$$

Lo que significa que, si es por la materia, no hay razón para que la fruta valga más. El mango antes y después está con la misma cantidad.

11.2. En términos energéticos

$$\delta E_{entra} - \delta E_{sale} = dE \quad (11.2)$$

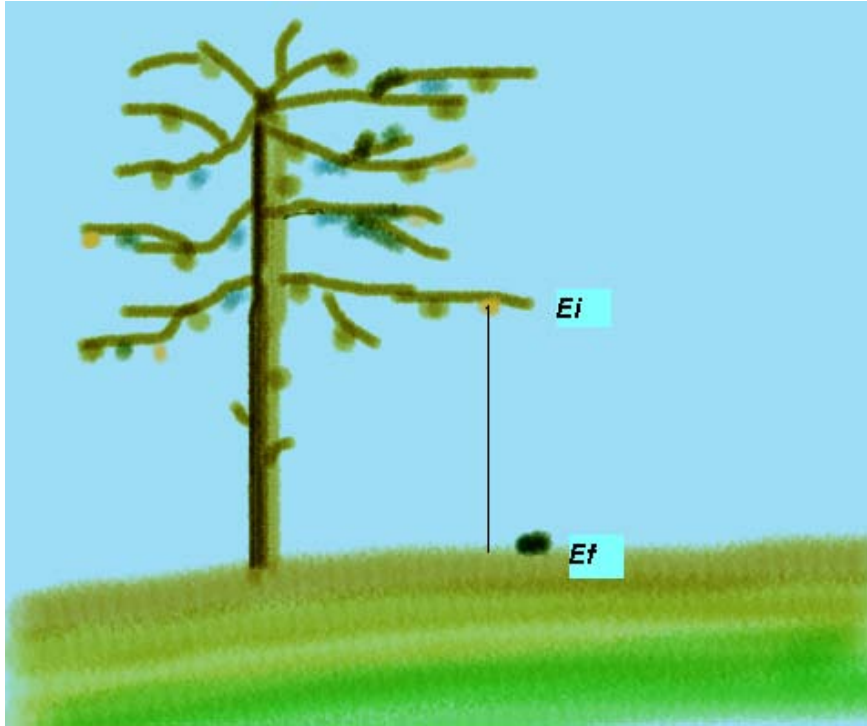


Figura 11.1: Fruto en el árbol y después en el suelo

Por lo tanto:

$$L = E_{final} - E_{inicial} \Rightarrow L + E_{inicial} = E_{final}$$

$$E_{final} = L + E_{inicial} \quad (11.3)$$

En éste caso el fruto no quedó en la misma condición exergética inicial, el contenido intrínseco de su energía resultó incrementado. En éste sentido se valoró, lo que muy bien sabe su dueño a la hora de cobrar por él.

11.3. En términos exergéticos

La ecuación es parecida a la anterior:

$$E_{x_{final}} = L + E_{x_{inicial}} - E_x^{degr} \quad (11.4)$$

Esta ecuación tambien muestra que la fruta no quedo igual a como estaba inicialmente pero adicionalmente aparece el término E_x^{degr} que da fé del deterioro de la fruta en el proceso de bajarla. Así ademas se valoró aunque también hubo un desvaloramiento

11.4. En términos económicos

Valorar economicamente puede considerar: la masa, la energía, la exergía, la entropía, la anergía, los daños ecológicos.

Los costos totales finales de un articulo o producto serán los que tenía antes más los costos añadidos C_{adic} .

$$C_{m_{final}} = C_{inicial} + \sum C_{adic} \quad (11.5)$$

11.4.1. Valorar economicamente con la masa

Cuanto vale por kilo o por libra la masa? Se trata de realizar una contabilidad en términos de valores de las masas involucradas en un proceso si se conoce el valor unitario de la masa c_m . Una contabilidad en éste sentido podría ser para un proceso de fabricacion o de transformación de masa:

$$\sum_{entran} c_{me} \delta m - \sum_{salen} c_{ms} \delta m = \sum_{almacen} d(c_{ma} M) \quad (11.6)$$

Los costos específicos de la masa c_{me}, c_{ms}, c_{ma} no son necesariamente iguales.

Desde el punto de vista de la masa no hay mucho que pensar en pos de buscar un valor adicional en el ejemplo del mango. La masa del mango era igual antes que después en términos de cantidad. Si c_m es el costo específico de la masa y C_m el costo de toda la masa del mango:

$$c_{mi} m_{inicial} = c_{mf} m_{final} \Rightarrow C_{m_{inicial}} = C_{m_{final}} \quad (11.7)$$

Los fabricantes y agricultores saben intuitivamente que que no debe ser igual la valoración de la masa del mango en el árbol que empacado , lo que desde el punto de vista de la materia no se puede explicar muy claramente si no que se debe recurrir a la energía.

11.4.2. Valorar económicamente con la energía

Cuanto vale la energía? Es la pregunta que debe saberse contestar aquí. Se trata de la valoración de la energía en el proceso. Si los costos unitarios c_E de la energía en el proceso y almacenada son conocidos podría ser de la siguiente manera.

$$\sum_{entran} c_{Ee} \delta E - \sum_{salen} c_{Es} \delta E = \sum_{almacen} d(c_{Ea} E) \quad (11.8)$$

Los costos específicos de la energía c_{Ee}, c_{Es}, c_{Ea} no son iguales.

$$d \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} C_{ec} E_c \\ C_{ep} E_p \\ C_{eq} E_{eq} \\ C_{eat} E_{eat} \\ C_{eu} U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ pv \\ u \\ e_q \\ e_{at} \end{pmatrix}_e \\ \begin{pmatrix} 0 \\ Qc_{eq} \\ 0 \\ Lc_l \\ 0 \\ Wc_w \end{pmatrix}_{entran} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ pv \\ u \\ e_q \\ e_{at} \end{pmatrix}_s \\ \begin{pmatrix} 0 \\ Qc_q \\ 0 \\ Lc_l \\ 0 \\ Wc_w \end{pmatrix}_{salen} \end{pmatrix}$$

Figura 11.2: Analisis económico de energía en sistemas

En el ejemplo que traemos del mango, éste en el árbol tiene un precio diferente a cuando está empacado. Sin tener en cuenta el empaque, el costo total de la fruta será el de la masa inicial más el añadido al hacer trabajo y quedar éste "incluido" en el mango.

$$C_{final} = C_{inicial} + \sum c_e E_{suministrada}$$

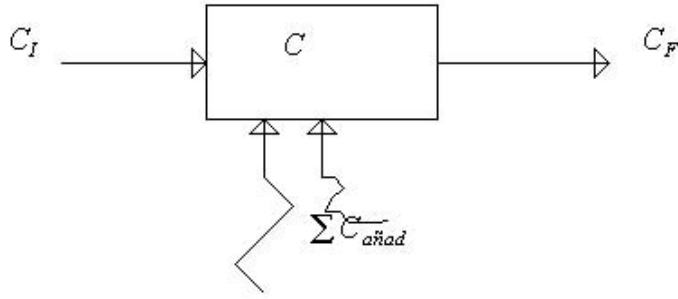


Figura 11.3: Costo final de un producto

11.4.3. Valorar económicamente con la exergía

Cuanto vale la exergía? Se puede adoptar un valor universal del costo de la exergía específica. La respuesta a esta pregunta parecer ser positiva. Y entonces cual es el criterio para adoptar un valor para ella?. De todas maneras el valor de la exergía producida debe ser diferente al de venta. De por medio está la utilidad económica.

La Exergía es energía útil desde el punto de vista de la labor. Aqui se debe tener en cuenta que ésta, la Energía, debe, en terminos generales, valer más que la Energía "en bruto" de menor calidad. Un valoración de la Exergía de un proceso sería:

c_o, c_1, c_2, c_3 los costos especificos de la exergía son diferentes? o se puede adoptar un valor universal. Las investigaciones en ésta materia están funcionando y hay propuestas en el sentido de ir involucrando los servicios de la naturaleza en los costos.

El costo de un producto es el que tenía inicialmente mas la suma de todos los costos de las exergías añadidas, desperdiciadas y degradadas. Pero la pregunta clave es Cuanto vale la Exergía?

$$dC = \sum Ex_{añadidas} c_i + \sum Ex_{deg} c_j + \sum Ex_{desperd} c_k - \sum Ex_{salen} c_l \quad (11.9)$$

$$dC = C_{final} - C_{inicial}$$

El costo de la Exergía degradada y desperdiciadas elevan el costo final.

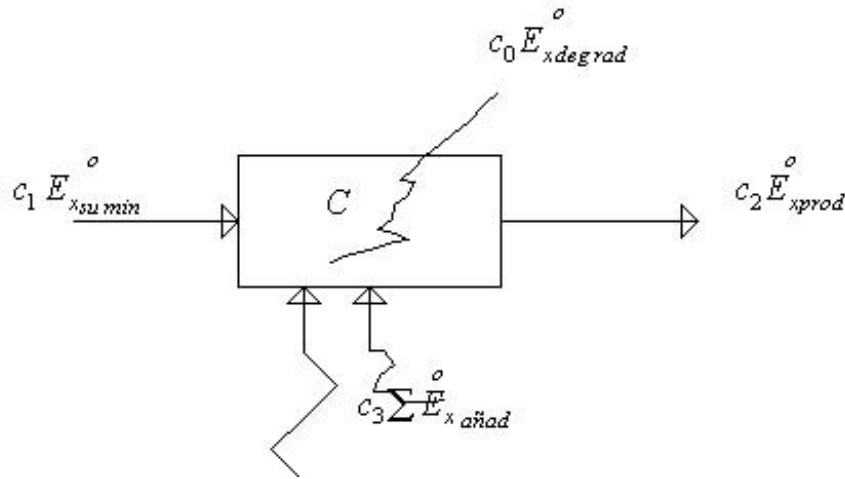


Figura 11.4: Costo Exergetico

En una planta de generación alimentada con un combustible cuyo costo por Kg es k_{co} , con poder calorífico PC La Exergía por cada Kg de combustible será:

$$e_{x_{co}} = PC \left(1 - \frac{T_o}{T_{co}} \right)$$

Siendo T_o y T_{co} las temperaturas del medio ambiente y de la combustión del combustible. Ésta será:

$$T_{co} = \left[\frac{1}{A/C + 1} \right] \frac{PC}{C_p} + T_o \quad (11.10)$$

El costo c_{x_e} de la exergía suministrada podra ser tenido en cuenta y una expresión para evaluarlo será:

$$c_{x_e} = k_{x_e} \frac{1}{e_{x_e}} \quad (11.11)$$

En la que k_{x_e} es el costo de la masa a la las condiciones de entrada. Por lo tanto para el combustible:

$$c_1 = k_{co} \frac{1}{e_{x_{co}}} \quad (11.12)$$

k_{co} es el costo de la masa de combustible a la entrada ($\frac{\$}{Kg_{co}}$).

11.4.4. Valorar económicamente con la entropía

Cuanto vale la entropía? la añadida la generada? la que se descarga? La Entropía y la Anergía aparecen espontáneamente cómo consecuencia de la irreversibilidad de los procesos que degradan Exergía. Su incidencia siempre aumenta los costos. La entropía generada se debe asociar con el desaprovechamiento del recurso energético.

11.4.5. Valorar económicamente con la Anergía

Cuanto vale la Anergía? la añadida la generada? la que se descarga? De igual forma que con la Entropía la Anergía generada se debe asociar más legitimamente con el desaprovechamiento energético.

Los desperdicios de masa , energía y sobre todo de exergía son objetables desde la óptica técnica, económica y ambiental. La producción de entropía y anergía marcan un mal uso de un recurso natural, impactos ambientales, sobrecarga del ambiente y una merma para la herencia social y biológica de la generaciones venideras.

$$\begin{aligned}
 & \begin{pmatrix} E_c \\ E_p \\ E_x^{eq} \\ E_x^{eat} \\ U - U_0 - P_0(V - V_0) - T_0(S_0 - S) \end{pmatrix} d \frac{C}{dt} = \begin{pmatrix} m q_1 \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ 0 \end{pmatrix} (h - h_0) - T_0(s_0 - s) \\ m q_2 \begin{pmatrix} e_c \\ e_p \\ 0 \end{pmatrix} (h - h_0) - T_0(s_0 - s) \\ c_3 Q \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \\ 0 \\ L c_5 \\ W C_7 \end{pmatrix}_{entrar} - \begin{pmatrix} c_4 Q \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \\ 0 \\ L c_6 \\ W C_8 \end{pmatrix}_{salen} + C_9 \frac{dT_{xdegrad}}{dt}
 \end{aligned}$$

Figura 11.5: Analisis económico exergetico de sistemas

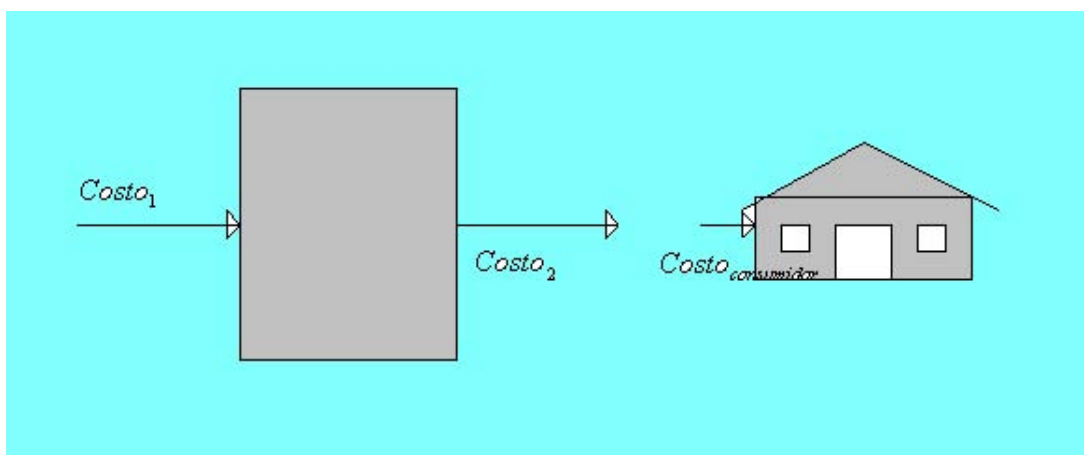


Figura 11.6: Costo para la planta, de venta en planta y al consumidor

Capítulo 12

Plantas térmicas

De este grupo son todas las que utilizan como fuente primaria el calor proveniente de los combustibles (Químicos o atómicos) y de depósitos térmicos, de la tierra, del mar o del sol. Usan agente de transformación que puede ser un gas (normalmente aire) o un vapor. El vapor se produce en una caldera, con el calor liberado de un combustible, o en un recuperador de calor, aprovechando una fuente térmica

Las plantas térmicas pueden ser **de combustión** o de **no combustión** como las Solares térmicas (que usan el calor del sol). Las de combustión pueden ser de **combustión directa** o de **combustión indirecta**.

El **motor** de una planta de generación es el componente de la misma que hace efectiva la transformación de la energía desde el agente de transformación en trabajo. En las plantas de combustión química ésta se produce en la **cámara de combustión** en algunas en el interior mismo del motor (**motor de combustión interna**)

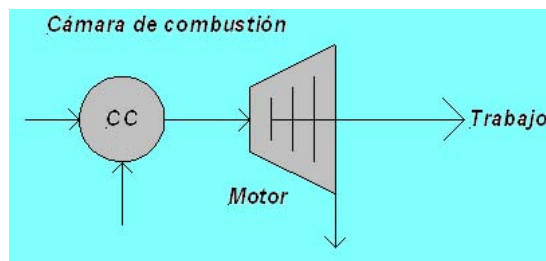


Figura 12.1: Motor de combustión externa

o exterior a él (**motor de combustión externa**).

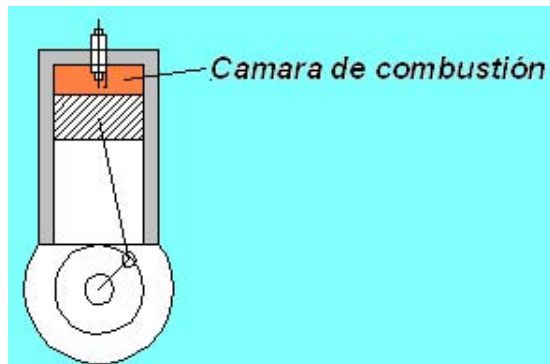


Figura 12.2: Motor de combustión interna de encendido por chispa (ciclo Otto)

El agente de transformación hace ciclos termodinámicos. Si es un gas los ciclos más comunes son el **Diesel**, **Otto**, **Brayton** y si es vapor es el ciclo de **Rankine**.

En las plantas térmicas de combustión, el calor proviene de una reacción química o una nuclear. La primera tiene una caldera o reactor químico donde un combustible y un corburente reaccionan químicamente con desprendimiento de calor y en la segunda en una pila o reactor nuclear la masa que desaparece se convierte en energía de acuerdo con la ecuación de Eistein:[12].

$$E_{suministrada} = \Delta M_{degradada} C^2 \quad (12.1)$$

12.1. Plantas térmicas solares (PST)

La radiación que llega a la superficie de la tierra proveniente del sol es una mezcla de fotones de todas las longitudes de onda. las longitudes de onda λ comprendidas entre $0,1m\mu < \lambda < 100m\mu$ son rayos térmicos en el sentido que trasportan energía calorífica y sirven para producir Exergía en plantas que usen el ciclo de Rankine. En éste sentido son semejantes a las de combustión (química o nuclear) pues todas éstas usan un agente de transformación que efectua secuencialmente: evaporación entrega de trabajo y condensación.

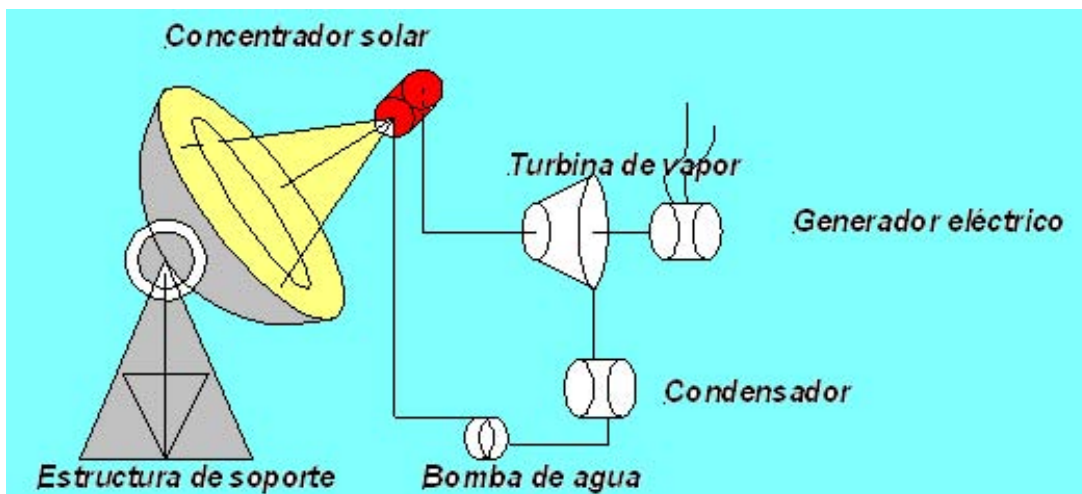


Figura 12.3: Planta Solar térmica

12.2. Plantas de combustión química

Los materiales llamados combustibles poseen unas moléculas normalmente grandes de cadenas formadas con átomos de C,H y O, que corresponden a la química orgánica y por lo tanto es frecuente que contengan N. Tienen la característica de que reaccionan con el oxígeno exotérmicamente con gran liberación de calor. Éste es el usado como fuente primaria en las plantas térmicas de combustión química (PTCQ).

los combustibles se obtienen de la naturaleza quien es la que los ha fabricado. Pueden estar sepultados y fosilizados por la acción combinada de la temperatura y la presión por muchísimos años, sobre material orgánico o pueden estar formando parte de la biosfera especialmente como vegetales. por ésta razón se dividen en dos clases.

1. Combustibles fósiles
2. Biomasa

12.2.1. Combustibles fósiles

la acción de la presión y temperatura sobre el material orgánico lo transformó en lo que aparece hoy en día como carbón mineral, petróleo y gas natural, *combustibles fósiles no renovables*.

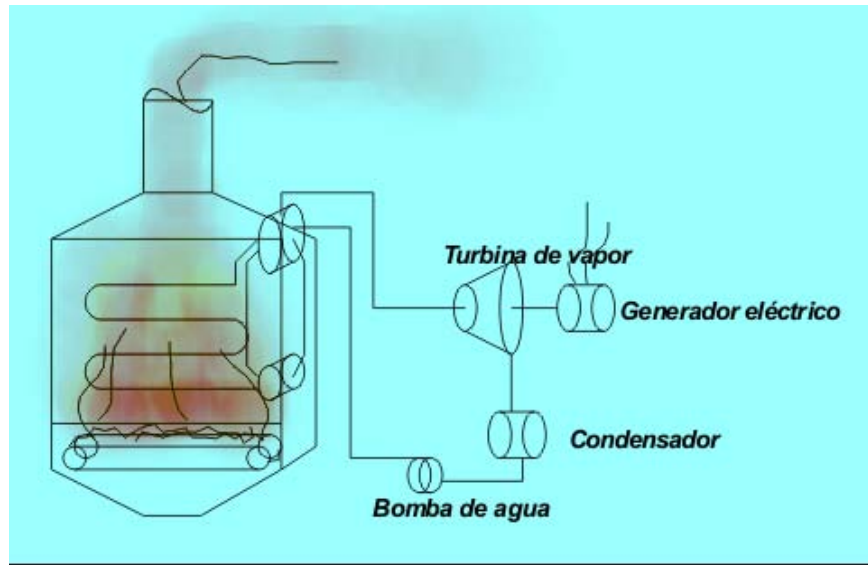


Figura 12.4: Planta térmica de combustión química

El apelativo de *no renovables* se debe a que el proceso de la naturaleza para obtenerlos demoró cientos de millones de años en condiciones especiales irrepetibles. Si acaso existieran actualmente las condiciones la duración del proceso dura muchísimo más que la vida media de un humano es decir no se puede esperar a la renovación de las fuentes que se vayan consumiendo.

12.2.2. Biomasa

Los combustibles que pertenecen a la biosfera son el material orgánico de la estructura corporal de los seres vivos.

Tienen el origen en la energía solar. El fenómeno de la fotosíntesis que ocurre en la parte verde de las hojas tomando moléculas de agua H_2O y dióxido de carbono de la atmósfera CO_2 sintetiza el material que forma el tejido de las plantas. De allí lo toman los diferentes animales en una cadena alimenticia que va hasta los carnívoros. Toda ese material orgánico es la biomasa.

Uno muy atractivo técnicamente es el vegetal que provee la madera y los residuos de la agroindustria.

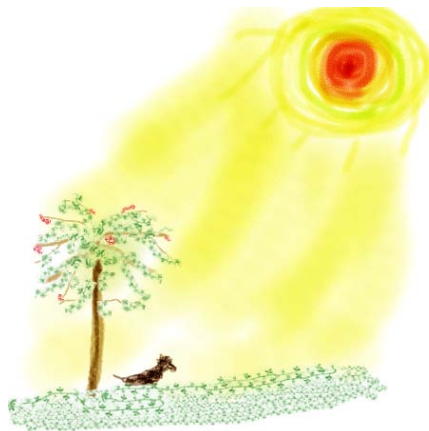


Figura 12.5: Fotosíntesis y Cadena alimenticia

Los aceites vegetales y la grasa animal son susceptibles de usar como fuente energética sobre todo cuando se transforman en biodiesel.

12.3. Plantas de Combustión nuclear

Los materiales radiactivos pueden ser fuente de energía térmica. Las reacciones nucleares que producen calor pueden ser de fisión o de fusión. Estos procesos son estudiados en la química nuclear. Ésta energía es liberada durante por fisión de un núcleo pesado o por fusión de dos núcleos ligeros. Las cantidades de energía que pueden obtenerse mediante procesos nucleares superan en mucho a las que pueden lograrse mediante las reacciones químicas, que sólo implican las regiones externas del átomo o enlaces químicos.

La energía nuclear puede liberarse en dos formas diferentes: por fisión de un núcleo pesado o por fusión de dos núcleos ligeros. En ambos casos se libera energía porque los productos tienen una energía de enlace mayor que los reactivos. Las reacciones de fusión son difíciles de mantener porque los núcleos se repelen entre sí, pero a diferencia de la fisión no generan productos radiactivos.

En las plantas térmicas de combustión nuclear, la caldera y el concentrador solar de las plantas químicas y solares, se ha sustituido por una caldera donde está la pila de material radiactivo, como el Plutonio y el Uranio. Por ese reactor donde está la pila nuclear pasa el agente de transformación que se evapora y desarrolla un ciclo de Rankine.[13]

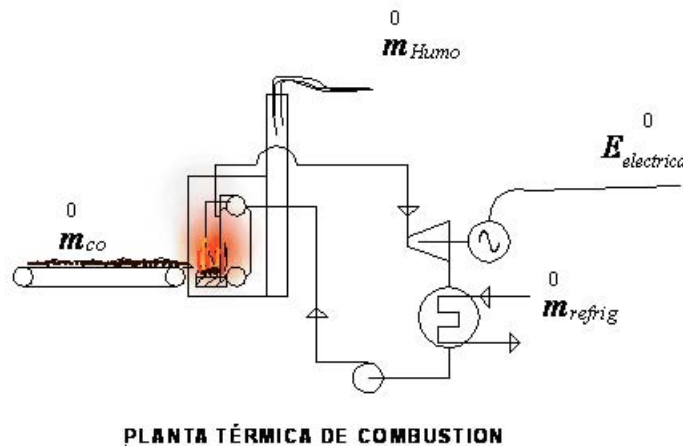


Figura 12.6: Planta de generacion con biomasa

12.4. Plantas de Regeneración

Algunos de los procesos industriales desprenden calor ya sea como subproducto o porque desechan parte del usado durante el proceso. Éste calor se puede usar como fuente de energía para, con el ciclo de Rankine, obtener Exergía.

12.5. Plantas de depósitos de energía térmica

En la naturaleza es frecuente encontrar materiales cuya masa, calor específico y temperatura los haga susceptibles de acumular energía térmica y ser fuente de energía.

Un depósito térmico tiene el producto mC alto. Un desierto de arena durante el día se calienta y absorbe mucho calor. Su gran masa lo haría calificable como depósito térmico. Igual que masas calientes del mar.

El calor específico de la arena es alrededor de $0,8 \frac{Kj}{Kg^{\circ}}$ y su densidad es de alrededor de $2200 \frac{kg}{m^3}$. Ésta combinación de calor específico y densidad hace que puede empezar a considerarse como depósito térmico, en algunas situaciones especiales, suministrando

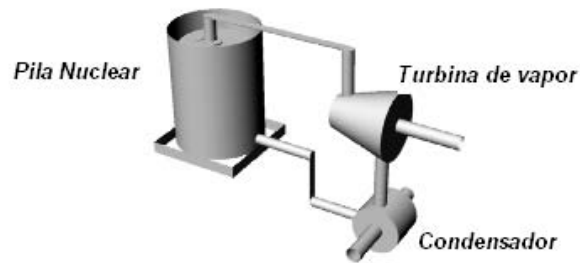


Figura 12.7: Planta de combustión Nuclear

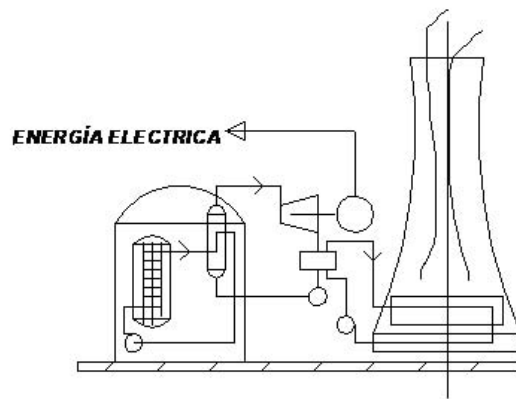


Figura 12.8: Configuración de una Planta Nuclear

calor a un agente de transformación que haga el ciclo de Rankine.

12.6. Plantas Geotermales

Dentro la tierra tiene rocas ígneas. Algunas veces éste calor aflora hasta a la superficie en fuentes de aguas termales o en volcanes. También se puede perforar la tierra para alcanzar sitios de temperatura adecuada para una planta de generación térmica.

El interior de la tierra es un inmenso horno donde continuamente se está generando calor. Este calor mediante mecanismos de convección, conducción y transferencia de

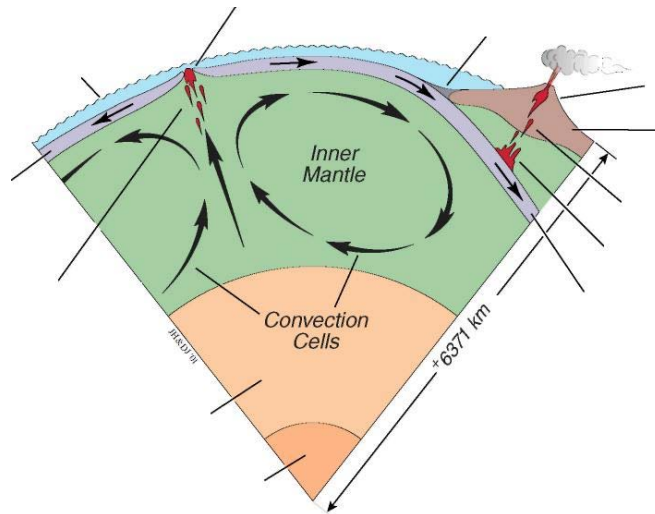


Figura 12.9: Flujo de Calor y Gradientes de Temperatura en la Litosfera

masa, principalmente, puede llegar cerca de la superficie terrestre o incluso alcanzar la misma. Los volcanes y los géiseres son muestra de ese calor interior de la tierra. La temperatura de la tierra se aumenta con la profundidad siendo la temperatura del centro de la misma de unos 4200°C . Una parte de este calor es una reliquia de la formación del planeta hace aproximadamente 4.5 mil millones años y otra parte es generada por la decadencia continua de isótopos radioactivos. El calor fluye desde temperaturas altas a más bajas y por lo tanto fluiría hacia la superficie por conducción y convección.

Las temperaturas del interior son tan altas que derriten la roca y ésta masa de rocas fundidas se llama *magma*. Como el magma es menos denso que las rocas que lo limitan, sube hacia la superficie de la corteza terrestre y transporta energía térmica con esa masa. Alrededor de $42 \times 10^{12} \text{ watts}$ son continuamente irradiados. A veces el magma sube a la superficie a través de corteza fina o a travez de fisuras en forma de lava.

Existen actualmente en diferentes sitios plantas que utilizan el calor de la tierra para generar exergía. Perforando hasta alcanzar la fuente de calor e inyectando agua, para usarla como un caldera, o y a veces usando las fuentes de agua evaporada superficiales de fuentes internas de la tierra.[14]

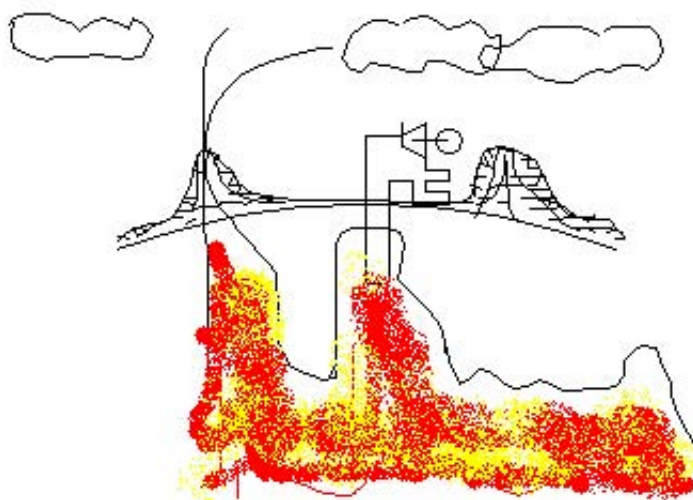


Figura 12.10: Planta geotermal

Capítulo 13

Plantas hidráulicas

Aquí quedan todas las que obtienen su energía primaria del agua, ya sea dulce (en los ríos o lagos) o del mar. Por lo tanto las mareomotrices (que transforman energía de las mareas) y las oleomotrices (que transforman energía de las olas) quedarán aquí, al igual que las centrales hidroeléctricas y las instalaciones micro y mini hidráulicas.[11]

Fuente	Tipo
Mar y Océanos	Olas, Mareas, Corrientes marinas, Térmica
Lagos	Potencial
Ríos	Cinética

Cuadro 13.1: Energías del agua

13.1. De Mares y Océanos

Los mares son verdaderos colectores solares y fuentes disponibles de diversas formas de energía.

La radiación solar que llega a los océanos origina gradientes térmicos oceánicos a bajas latitudes y profundidades menores de 1000 metros. Éstos gradientes térmicos por fenómenos de diferencia de densidades producen corrientes en el interior. Los vientos, originados indirectamente del sol, inciden sobre las aguas y producen oleaje y corrientes marinas. En éste contexto es muy conocida entre otras la corriente de Humbolt y la corriente del golfo de México

La gravitacion de los cuerpos celestes sobre las masas líquidas provoca desplazamientos de masas y origina las mareas.

En el mar las corrientes corrientes de agua son verdaderos rios interiores al Oceano.

Fundamentalmente son tres las energías disponibles hidraulicas del mar. provienen de :

1. Mareas
2. Olas
3. Corrientes marinas

El movimiento astral con su fuerza de atracción gravitacional atrae y mueve las masas líquidas. Como consecuencia la luna, El sol, nuestros astros mas cercanos, hacen que el mar cíclicamente se esté desplazando, orientandose hacia la posición de ellos, lo que hace que el nivel del mar suba y baje periódicamente. Éste fenomeno del agua se llama *Marea*

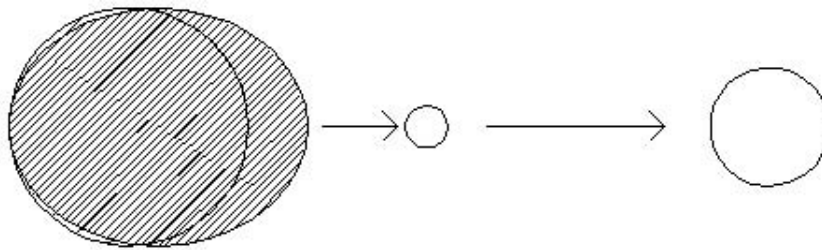


Figura 13.1: Atracción gravitacional origina las mareas

Las mareas tienen energía potencial acumulada en su masa, y ésta es Exergía. Aunque su altura puede ser de pocos metros la inmensa masa la hace poseedor de un importante cantidad de energía. Es un recurso energético disponible cuya aprovechabilidad depende del grado de tecnología que se tenga.

$$E_{pot} = Mgh \quad (13.1)$$

La tecnología del aprovechamiento se basa en encerrar, en el estado de marea alta, la masa de agua para después, en baja mar, dejarla salir aprovechando la energía que se

había acumulado.

Se desprende fácilmente la extraordinaria magnitud del embalse que contendrá la masa de agua para que se contenga una aceptable cantidad de exergía.

Los ciclos de aprovechamiento tienen una duración de acuerdo con el período de la luna alrededor de la tierra principalmente, con época de máxima altura cuando el sol y la luna estén alineados y ejerzan la máxima atracción conjunta.

Esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas altas y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas. La limitación para la construcción de estas centrales es su alto costo de la energía producida y el impacto ambiental que generan.

La energía estimada de las *mareas* es del orden de 22000 TWh de los que se consideran recuperables alrededor de 200 TW – h[10]

Todavía, a pesar de ser un recurso muy común, no se logrado abaratar su uso lo que constituye el principal obstáculo actual para el montaje de una planta que explote de éste tipo de energía.

La inversión inicial tiende a ser alta con respecto a la cantidad de exergía obtenida, consecuencia de la variación del suministro de energía y lo que se llama "baja carga" o poca energía aprovechable por cada kilogramo del recurso. Estas bajas cargas exigen la utilización de grandes equipos para manejar las enormes cantidades de agua que se necesitan para obtener Exergía en forma de electricidad.

Las Olas Se originan en el impulsos del viento sobre el agua del mar y los lagos. El calentamiento de la superficie terrestre calienta desigualmente la capas de aire atmosférico y la superficie y este gradiente de temperatura y la diferencia de densidad asociada, genera viento que consecuentemente, genera las olas.

Es un desplazamiento ondulatorio de energía y por lo tanto no existe desplazamiento neto de masa (las olas van y vienen y nunca se quedan) por eso se desplazan entonces a largas distancias, sin pérdida apreciable de energía. Como flujo de energía está disponible y atrasado su aprovechamiento, no obstante ser un recurso harto conocido y relativamente cercano a la mayoría de los pueblos.

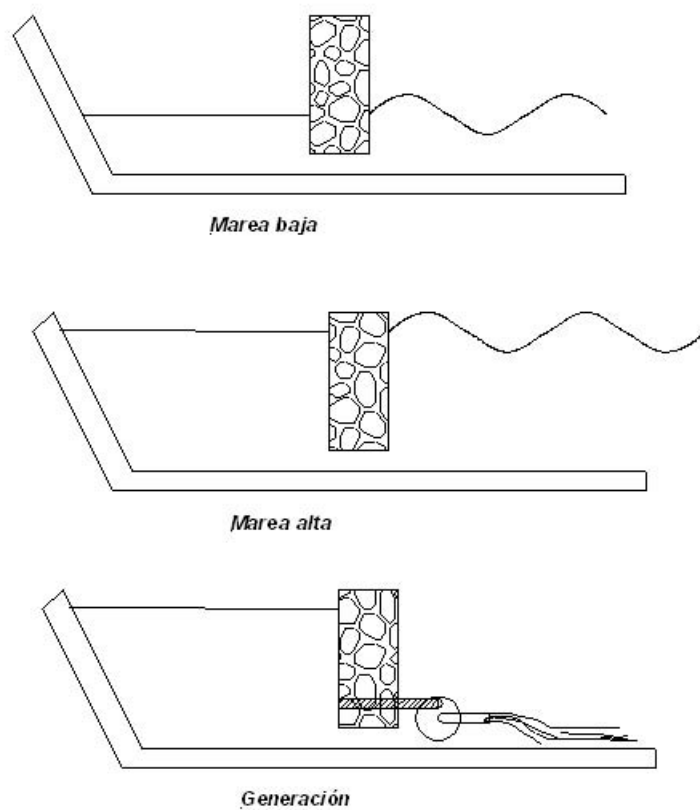


Figura 13.2: Aprovechamiento de las mareas

13.2. Potencial energético de las olas

Alrededor del 0.01 % del flujo de la energía solar se transforma en energía de las olas.

La energía de las olas por cada metro de longitud es del orden de 8 kW/m de costa. La intensidad de la radiación solar es del orden de 300- 800 W/m². La densidad de energía disponible varía entre 50-60 kW/m en Nueva Zelanda, hasta el valor medio de 8 kW/m.

El contenido de energía de las olas es, en un orden de magnitud, puede ser mayor que la que los procesos que la generan en algunos sitios de la geografía terrestre. Éste contenido energéticos de las olas están controlado por los sistemas de viento que las generan (tormentas, alisios, monzones) y en general del clima.[5]

13.3. Potencial energético de rios y lagos

El agua en el mar tiene un nivel bajo y por lo tanto su energía potencial está en el mínimo. El contenido exergético de ésta agua se reduce a la energía cinética de las corrientes y olas y a la energía potencial de las mareas. También tendrá la exergía contenida en masas de diferente temperatura.

El sol evapora el agua del mar y por fenómenos de sicrométrica y diferencia de presiones parciales hace que quede absorbida en el aire. Los gradientes de temperatura que produce los vientos y eleva al aire, transportan ese vapor de agua con el aire hasta las montañas. La vegetación apropiada y la lluvia hacen que el agua, condensada descienda formando las corrientes de los rios y los depósitos en lagos.

Capítulo 14

Plantas eólicas

El aire es una mezcla gaseosa de Nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y varios gases en cantidades menores tales como: Metano, bióxido de carbono, Neón y los otros gases nobles etc. que rodea la tierra y constituye su atmósfera. Las Plantas eólicas usan como fuente el viento que es una masa de aire atmosférico en movimiento.

Rodea a toda la tierra y por efecto de transferencia de calor desigual (debido a su altura sobre el nivel del mar, la radiación solar y otras combinadas) tiene capas con diferentes temperaturas y por lo tanto con densidad diferente. Éste gradiente de temperatura en su masa significa también gradiente de la densidad de la masa, y movimiento del aire por circulación natural.

Éste desigual calentamiento produce desplazamiento de grandes masas de aire continuamente, generándose lo que se llama viento. Por lo tanto viento es aire moviéndose es decir con energía cinética

El sol es el agente externo que calienta la masa de aire y fenómenos de transferencia de calor entre diferentes zonas de éste y con superficies terrestres produce gradientes de temperatura. El viento pues tiene su origen en la radiación solar.

El aire en contacto con la superficie de la tierra se calienta más rápidamente que en contacto con la superficie del mar. Esto hace que el aire sobre la costa suba y su lugar es ocupado o sea es reemplazado por el que está sobre la superficie del agua. El efecto es un viento que sopla desde el mar hacia la costa y es un recurso energético importante.

El sol es la fuente primaria de donde provienen, en última instancia, todas las



Figura 14.1: Viento y Calentamiento solar

fuentes de energías renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica). Incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen definitivamente de él. El sol irradia 174.423.000.000.000 Kwh. de energía por hora hacia la Tierra. En otras palabras, la Tierra recibe $1,74 \times 10^{17}$ W de potencia.[9]

Alrededor de un 1 a un 2 % por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

La energía eólica es la energía del viento. Es energía cinética de la masa de aire circulando. Puede ser teóricamente transformada totalmente en energía mecánica y electricidad por tratarse de exergía.

Durante muchos años se ha utilizado en el campo para bombear agua y moler granos o conversión en energía mecánica. Actualmente se ha venido utilizando para impulsar turbinas de viento que generan electricidad.

Se estima que el viento equivale a alrededor de $8,76 \times 10^{14} \frac{\text{Kwat-h}}{\text{ano}}$ [15]. Ésta extraordinaria cantidad de energía tiene un comportamiento estacional y variable por lo que el sistema de acumulación de Energía es impracticable y obligatorio el sistema de acumulación de Exergía.

El viento es un recurso energetico que ha sido tradicional en todo el mundo que el hombre ha venido utilizandolo en movimiento de agua, extracción de aceites y molienda

de granos. En EE. UU. hasta los años 1940 generaba en forma muy difundida electricidad. Gobiernos interesados en la generación centralizada de energía desestimuló su uso.[16]

Una planta de generación eólica estará conformada por un conjunto de aspas o aeromotor acoplado a un generador para producir corriente eléctrica que deberá regularse y almacenarse con destino posterior a un consumidor.[17]

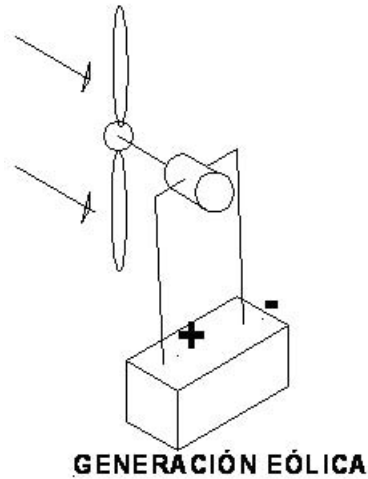


Figura 14.2: Aprovechamiento de la energía eólica

Capítulo 15

Plantas Solares fotovoltaicas

Éstas aprovechan la energía solar de radiación visible, para desprender electrones en ciertos materiales semiconductores. Es el *efecto fotoeléctrico*.

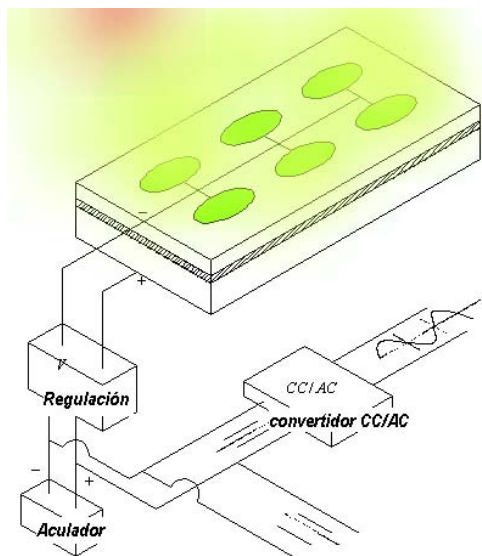


Figura 15.1: Bloques de transformación, Regulación, Acumulador de Exergía y distribución en una planta solar Fotovoltaica

Pueden ser diseñadas para que suministren electricidad a un consumidor o pueden estar integradas a la red de suministro de energía eléctrica pública. En el primer caso son denominadas Plantas "*aisladas*", "*dedicadas*" o "*independientes*" y en el segundo "*integradas*".

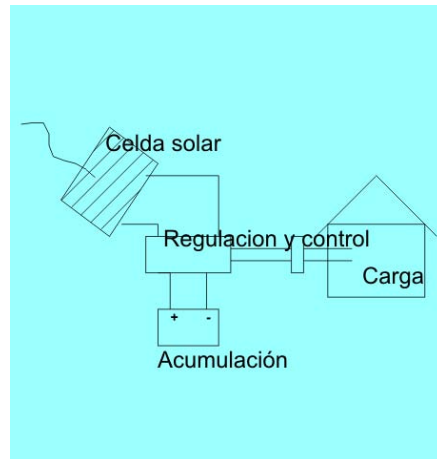


Figura 15.2: Bloques en una Planta solar fotovoltaica aislada

1. Plantas aisladas

- Corriente continua CC
- Corriente alterna AC
- Corriente alterna y continua AC - CC

2. Plantas integradas

- Corriente alterna AC menos de 110 - 120V
- Corriente alterna AC 110 - 120V
- Corriente alterna AC más de 120V

Plantas mixtas o híbridas combinan varias fuentes de energía, por ejemplo: PST y Eólica, o Hidráulica etc.

Las Plantas solares Fotovoltaicas, al igual que las PST, son aisladas o conectadas a la red pública. Las plantas aisladas pueden diseñarse para suministrar corriente continua (CC), corriente alterna (CA) o ambas las plantas integradas deben producir corriente AC del voltaje de la red a la cual se integrará [18].

Capítulo 16

Plantas de fuentes novedosas o no tradicionales

16.1. Celdas de combustible

Las celdas de combustibles convierten directamente en energía eléctrica la energía química de un combustible gaseoso en un proceso que es inverso a la electrolisis. Uno de los más importantes combustibles usados en las celdas es el Hidrógeno pero también es el metano y se usan además, otros.

Tiene las siguientes ventajas con relación a otros métodos de generar Exergía:

1. no contamina y silencioso
2. seguro y eficiente
3. poco mantenimiento y larga vida
4. construcción modular y escalada, sin limitaciones de potencia.

Una celda de combustible de Hidrógeno opera como una batería. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente, sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible. El único subproducto que se genera es agua 100 % pura.

La Celda de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico funciona de la siguiente manera:

1. Al ánodo las moléculas de hidrógeno pierden sus electrones y forman iones de hidrógeno, un proceso que se hace posible por medio de catalizadores de platino
2. Los electrones se traspasan al cátodo a través de un circuito externo que produce electricidad al pasar por un motor (u otro mecanismo eléctrico)
3. Los iones de hidrógeno pasan al cátodo por la membrana de intercambio protónico, donde se unen con las moléculas de oxígeno y electrones para producir agua
4. De esta manera, se utiliza el proceso natural de producción de agua por medio de la oxigenación de hidrógeno, para producir Exerg ía como electricidad y después como trabajo.
5. No se produce ninguna contaminación y los únicos desechos son agua y calor
6. El proceso químico es:

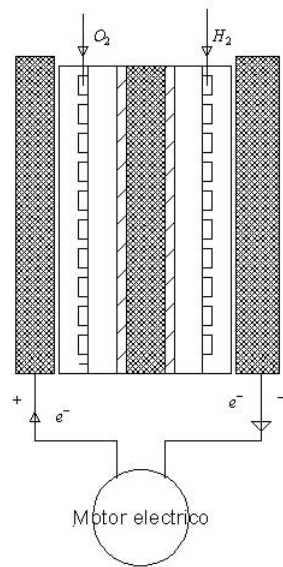
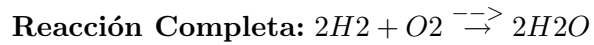


Figura 16.1: Esquema celda de combustible

Capítulo 17

Plantas Mixtas

Las plantas mixtas combinan en una sola instalación plantas que se surten de varios tipos de fuentes de energía. Se pueden dar hidraulicas con solares termicas o fotovoltaicas. etc. Pueden ser bi, tri etc si combinan dos, tres o mas fuentes.

FUENTE	TIPO
Térmica Solar: Combustión etc	Térmica
Hidráulica: Mar Ríos Lagos	Hidráulica
Eólica	Eólica
Solar	Solar
Geotermal	Geotermal

Cuadro 17.1: Combinaciones generales en Plantas mixtas

En cada una de las categorias del cuadro anterior hay varias clases de plantas. Por ejemplo en la categoria de **Térmicas** pueden estar las de combustión química o nuclear, biomasa o fósil de depositos térmicos, geotermal etc. En las **Hidráulicas** los lagos, los rios, del mar: olas, mareas etc. Que se pueden combinar de dos, tres, cuatro y mas en una sola planta mixta.

Existe, además, la posibilidad de ampliación haciendola de manera modular e irle

añadendo módulos que se surtan de una misma fuente ou otros módulos que aprovechen otras fuentes.

Algunas fuentes estacionales abundan en periodos del año en que escasean otras y despues se cambian: las que en una temprada abundaban ahora no están pero surgen otras que las pueden reemplazar. Es como la lluvia y el viento que se pueden alternar en temporada o manifestar juntas cuando el sol no aparece. Las plantas mixtas pueden aprovechar ésta alternacia para surtir de energía todos el año a un consumidor.

Índice general

1. Introducción	3
2. Materia-Energía-Exergía-Anergía	7
3. Energía y desarrollo	11
4. Flujo de Energía en la tierra	15
4.1. Flujo desde el interior de la tierra (o Geotérmica)	16
4.2. Flujo desde el sol	17
5. Plantas de generación de Exergía	21
5.1. Clasificación de las PGEx	23
6. Configuración general de una PGEx	25
6.1. Acumulador de energía	26
6.2. Convertidor o Transformador de Energía	26
6.3. Acumulador de Exergía	27
6.4. Distribuidor de Exergía	27
6.5. Disipador de Energía desechada y Anergía descargada	27
6.6. Disipador de efluentes y descargas	28
7. Ingeniería en las plantas de generación de Exergía	31
8. Estudio de demanda y Carga	35
8.1. Introducción	35
8.2. Análisis de la Demanda	36
8.3. Curva De Demanda	36
8.4. Curva de carga	37
8.5. Índices de demanda y carga	37
8.5.1. Demanda de energía	37

8.5.2.	Carga total o Energía producida	39
8.5.3.	Carga máxima (o demanda máxima) W_{max}	39
8.5.4.	Carga pico especificada o demanda pico especificada W_{pico}	39
8.5.5.	Carga promedio o demanda promedio W_{prom}	39
8.6.	Índices del comportamiento de la carga	40
8.6.1.	Relación: (carga mínima / carga máxima) f_m	40
8.6.2.	Coeficiente de tiempo de servicio C_d	40
8.6.3.	Carga media	40
8.6.4.	Relación de carga o relación entre las cargas máximas y promedio	40
8.6.5.	Coeficiente de carga media	41
8.6.6.	Coeficiente de utilización de la carga máxima	41
8.6.7.	Tiempo de utilización de la carga máxima	41
8.6.8.	Factor de carga	41
8.6.9.	Potencia instalada	42
8.6.10.	Coeficiente de reserva	42
8.6.11.	Tiempo de utilización de la potencia instalada	42
8.6.12.	Coeficiente de utilización de la carga instalada	42
8.7.	Curva de duración de la carga /Demanda	42
8.8.	La carga de diseño y la carga instalada	43
8.8.1.	Potencia de diseño W_{dise}	44
8.8.2.	Potencia instalada W_{inst}	44
8.8.3.	Capacidad de la carga instalada	44
8.8.4.	Energía total instalada	44
8.8.5.	Energía demandada	45
8.8.6.	Carga media Kw_{med}	45
8.8.7.	Factor de uso FU	45
8.8.8.	Factor de capacidad FCA	46
8.8.9.	Otros factores de carga	46
8.8.10.	% satisfacción de la demanda	46
8.9.	La potencia de diseño	47
9.	Valoración de la fuente	49
9.1.	Valoración de fuentes estacionales	50
10.	Fundamentación teórica	53
10.1.	Análisis de masa o balance de materia	53
10.2.	Análisis de Energía	54
10.3.	Analisis de Entropía	56
10.4.	Cálculos de valores de Exergía	60
10.4.1.	Exergía de una corriente de fluido	60

10.4.2. Exergía de un sistema cerrado	61
10.4.3. Exergía de una fuente de calor	63
10.4.4. Exergía de un combustible	64
10.4.5. Exergía de la Energía Química	65
10.4.6. Exergía de la Energía Atómica	65
10.5. Índices de desempeño	66
10.5.1. Índices de desempeño global-Eficiencia global	67
10.5.2. Índices locales	67
11. Valoración del desempeño PGEx	69
11.1. En términos de masa	69
11.2. En términos energéticos	69
11.3. En términos exergéticos	70
11.4. En términos económicos	71
11.4.1. Valorar económicamente con la masa	71
11.4.2. Valorar económicamente con la energía	72
11.4.3. Valorar económicamente con la exergía	73
11.4.4. Valorar económicamente con la entropía	75
11.4.5. Valorar económicamente con la Anergía	75
12. Plantas térmicas	79
12.1. Plantas térmicas solares (PST)	80
12.2. Plantas de combustión química	81
12.2.1. Combustibles fósiles	81
12.2.2. Biomasa	82
12.3. Plantas de Combustión nuclear	83
12.4. Plantas de Regeneración	84
12.5. Plantas de depósitos de energía térmica	84
12.6. Plantas Geotermiales	85
13. Plantas hidráulicas	89
13.1. De Mares y Oceanos	89
13.2. Potencial energético de las olas	93
13.3. Potencial energético de ríos y lagos	93
14. Plantas eólicas	95
15. Plantas Solares fotovoltaicas	99
16. Plantas de fuentes novedosas o no tradicionales	101
16.1. Celdas de combustible	101

17.Plantas Mixtas**103**

Índice de cuadros

13.1. Energías del agua	89
17.1. Combinaciones generales en Plantas mixtas	103

Índice de figuras

1.1. Plantas de Generación de Exergías: Planta de generación, Cogeneración, Mixta	4
1.2. Planta de generación de Exergía mueve a	5
2.1. Materia en el Universo	8
2.2. Enlaces de materia en las moléculas	9
4.1. La Energía del Sol sostiene la Tierra	16
5.1. Representación de una Planta de generación de Exergía	22
6.1. Sistemas de las plantas de generación de Exergía	29
7.1. Ingeniería de las plantas de generación	31
7.2. Concepción del dimensionamiento planta	32
7.3. Concepción del chequeo de una planta	32
7.4. Concepción del chequeo la fuente	33
8.1. Curvas de carga: Carga inestable y estable	38
8.2. Curva de utilización de la carga / demanda	43
8.3. Ejemplo de curva de carga	44
8.4. Curva diaria de carga	45
8.5. Ejemplo	47
8.6. La carga de la planta es la demanda más las pérdidas	48
9.1. Ejemplo del comportamiento estacional de una fuente	50
9.2. Comportamiento variable de una fuente	50
9.3. Áreas para valorar la energía disponible y aprovechable	51
9.4. Comportamiento de la velocidad del viento cerca a la superficie terrestre	51
10.1. Analisis de masa de un sistema	54

10.2. Analisis de Energía para un sistema	56
10.3. Ecuación de analisis de Energía	57
10.4. Analisis de flujos de Energía	58
10.5. Análisis de Exergía de un sistema	59
10.6. Interacción de los sistemas de una planta y el medio ambiente a T_o y P_o	61
10.7. Exergía específica del flujo	62
10.8. Energías de un sistema cerrado	63
10.9. Exergía de una fuente de calor que descarga a la atmósfera a T_o	64
10.10 Analisis de Exergía	66
11.1. Fruto en el árbol y después en el suelo	70
11.2. Analisis económico de energía en sistemas	72
11.3. Costo final de un producto	73
11.4. Costo Exergetico	74
11.5. Analisis económico exergético de sistemas	76
11.6. Costo para la planta, de venta en planta y al consumidor	77
12.1. Motor de combustión externa	79
12.2. Motor de combustión interna de encendido por chispa (ciclo Otto)	80
12.3. Planta Solar térmica	81
12.4. Planta termica de combustión química	82
12.5. Fotosíntesis y Cadena alimenticia	83
12.6. Planta de generacion con biomasa	84
12.7. Planta de combustión Nuclear	85
12.8. Configuración de una Planta Nuclear	85
12.9. Flujo de Calor y Gradientes de Temperatura en la Litoesfera	86
12.10 Planta geotermal	87
13.1. Atracción gravitacional origina las mareas	90
13.2. Aprovechamiento de las mareas	92
14.1. Viento y Calentamiento solar	96
14.2. Aprovechamiento de la energía eólica	97
15.1. Bloques de transformación, Regulación, Acumulador de Exergía y distribución en una planta solar Fotovoltaica	99
15.2. Bloques en una Planta solar fotovoltaica aislada	100
16.1. Esquema celda de combustible	102

Bibliografía

- [1] Cengel Yanus y Boles M. Thermodynamics. *Mc Graw Hill*, 2 edition(1), 1998.
- [2] Kirilin V. A. and Sichev V.V. Termodinamica técnica. *Ed Mir Moscu*, 2 edition(1), 1974.
- [3] U. S. Bureau.... Energy and utilities. *U. S. Bureau*, 16(1):567–586, 2001.
- [4] Bert J. M., Detlef P., et al. Renowable energy sources: ... *Energy Policy*, 16(1):2590–2610, 2003.
- [5] File J. y Considine M. Energía - diccionario de la energía. *Publicaciones Marcombo S.A*, 7 edition(1):53–62, 1988.
- [6] Fitz De Don. Calentamiento global: Limitaciones de la energía solar y eólica. *Znet*, ZNet 24 de abril 2007:567–586, 2007.
- [7] Mireia Piera y Manuel Perlado y José María Martínez-Val. La energía en la tierra. *Fundación Iberdrola* <http://www.fundacioniberdrola.org>, 1 edition(1), May 2000.
- [8] Colectivo. El flujo de energía en el ecosistema. <http://www.peruecologico.com.pe>.
- [9] File J. y Considine M. Energía - tendencias y tecnologías energéticas. *Publicaciones Marcombo S.A*, 6 edition(1):53–62, 1988.
- [10] File J. y Considine M. Energía - tecnología de la energías. *Publicaciones Marcombo S.A*, 5 edition(1):53–62, 1988.
- [11] File J. y Considine M. Energía - tecnologias de las energías solar.. *Publicaciones Marcombo S.A*, 5edition(1):53–62, 1988.
- [12] Gerardo Cabrera Cifuentes. Fuentes de energía. *Universidad del Valle*, 1 edition(1):53–62, 2006.
- [13] Puig Ignacio. La energía nuclear. *Ediciones Betis. Barcelona*, 1 edition(1), 1954.

- [14] U.S. Department of Energy. Geothermal energy. *University of Utah*, 1 edition(1), May 2001.
- [15] Rosato Mario. Diseño de máquinas eólicas de pequeña potencia. *Proogensa*, 1 edition(1), 1991.
- [16] Soner Huping. Cómo usar las fuentes de energía natural. *Editorial Ciana. Mexico*, 1 edition(1), 1980.
- [17] Cabrera C. Gerardo. Fuentes de energía. 2007.
- [18] Gerardo Cabrera Cifuentes. Generación de exergía solar fotovoltaica. *Universidad del Valle*, 1 edition(1):53–62, 2006.