

Anexo 2

Energía

2.1. Introducción

Para el desarrollo del trabajo realizado durante la práctica supervisada para la conformación de éste informe es necesario realizar una revisión de conceptos teóricos.

En el presente capítulo se desarrollaran conceptos básicos sobre energía, las distintas formas que puede adoptar, su relación con el medio ambiente exterior, y los principios fundamentales asociados a ella.

2.2. Conceptos acerca de la energía

El término energía (del griego *energeia*, actividad, operación, *energos*, fuerza de acción o fuerza trabajando) tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento.

La energía es la capacidad que posee un cuerpo o un sistema de cuerpos para poder desarrollar un trabajo, se presenta en la naturaleza bajo muchas formas diferentes.

La energía potencial es la de un cuerpo o de un sistema en reposo, es la energía de posición, energía estática o energía que valora la posibilidad de realizar un trabajo con respecto a un nivel determinado.

La energía potencial de un cuerpo o de un sistema de cuerpos con respecto a un nivel determinado se expresa por medio de la fórmula:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = P \cdot h \quad (1)$$

Donde m es la masa del cuerpo o sistema, en kilogramos, g es la aceleración de la

gravedad en metro por segundo al cuadrado, $\frac{m}{s^2}$, y h la altura sobre el nivel de referencia en metros entonces se obtiene la fuerza peso P en newton, y la energía potencial, Ep en

$\text{Kg} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = \text{N} \cdot m = \text{Joule}$

La energía cinética es la que posee un cuerpo o un sistema en movimiento en virtud de su masa y de la velocidad que lleva, se expresa por medio de la fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2)$$

Donde m es la masa del cuerpo sistema, en kilogramos, v la velocidad, en metro por

segundo, $\frac{m}{s}$, entonces se obtiene la energía cinética, Ec en $\text{Kg} \cdot \frac{m^2}{s^2} = \text{N} \cdot m = \text{Joule}$

El calor es una forma de la energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Para medir ésta energía térmica se utiliza como unidad de cantidad de calor a la caloría o a la kilocaloría, que es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua sometido a la presión atmosférica normal. En unidades inglesas se utiliza la unidad termal británica (British Thermal Unit o Btu) que es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado Fahrenheit una libra de agua y es equivalente a 0.25 kilocalorías.

Si un cuerpo de masa m recibe o entrega una cantidad de calor Q , se verifica experimentalmente que:

$$q = \frac{Q}{m} \quad (3)$$

Si se quiere que el cuerpo solo experimente una variación de temperatura infinitamente pequeña, dt , se debe limitar la cantidad de calor recibida o entregada a un valor elemental:

$$dq = \frac{dQ}{m} \quad (4)$$

Con el intercambio de calor que efectúa el cuerpo, éste experimenta una variación de temperatura dt , entonces:

$$dq = c \cdot dt \quad (5)$$

Siendo c un coeficiente de proporcionalidad que se llama calor específico verdadero, y representa la cantidad de calor que para esa temperatura debe recibir o entregar el cuerpo por cada unidad de masa para variar en un grado su temperatura.

Reemplazando el valor de dq en la ecuación 5 y delejando se encuentra que

$$dQ = m \cdot c \cdot dt \quad (6)$$

Fórmula que relaciona la cantidad de calor suministrada o extraída a un cuerpo con la variación de su temperatura. Se ha limitado la misma a un valor infinitamente pequeño, en el cual se puede suponer que c permanece constante, si en cambio integramos para una cierta variación de temperatura, se obtiene

$$Q = m \cdot \int_{t_1}^{t_2} c \cdot dt \quad (7)$$

El valor de Q dependerá de la ley de variación de c con la temperatura.

2.3. Trabajo

Sistema: Se llama sistema a cualquier sustancia o conjunto de sustancias que se suponen limitadas por una envoltura o superficie ideal.

Se llama sistema aislado a aquél que no intercambia energía fuera de sus límites, se llama cerrado o sin flujo cuando la misma cantidad de masa se mantiene durante cualquier cambio en el mismo, se llama abierto cuando cierta masa puede cruzar la superficie límite.

Un cuerpo realiza un trabajo cuando se desplaza venciendo las resistencias o fuerzas que lo contienen.

2.3.1. Función de estado

Una función de estado o variable de estado es una magnitud física macroscópica que caracteriza el estado de un sistema en equilibrio. Dado un sistema en equilibrio puede escogerse un número finito de variables de estado, tal que sus valores determinan unívocamente el estado del sistema.

El valor de una función de estado sólo depende del estado termodinámico actual en que se encuentre el sistema, sin importar cómo llegó a él. Esto significa que si, en un instante dado, tenemos dos sistemas termodinámicos en equilibrio con n grados de libertad y medimos un mismo valor de n funciones de estado independientes, cualquier otra función de estado tendrá el mismo valor en ambos sistemas con independencia del valor de las variables en instantes anteriores.

2.3.2. Trabajo en un sistema cerrado.

Considerando un recipiente de sección s , el cual contiene un fluido compresible al que se le puede aplicar una presión p constante, por medio de un mecanismo como por ejemplo un émbolo, si éste se desplaza una longitud infinitamente pequeña dh , la fuerza que se ejerce es $p \cdot s$ y el trabajo resulta

$$dL = p \cdot s \cdot dh \quad (8)$$

En un proceso cuasiestático, proceso lento en relación con la velocidad de las partículas que conforman el sistema y sin fricción, la presión p será igual en cada instante a la presión del fluido.

Como el término $s \cdot dh$ representa el aumento infinitesimal de volumen dV se obtiene

$$dL = p \cdot dV \quad (9)$$

La ecuación anterior representa el trabajo elemental suponiendo transformación reversible, el trabajo total para una transformación finita reversible entre un volumen V_1 inicial y otro V_2 final está dado por

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV \quad (10)$$

La expresión anterior representa el trabajo para un sistema cerrado que efectúa un proceso reversible. Se infiere que la presión se comporta como una fuerza generalizada, en tanto que el volumen actúa como un desplazamiento generalizado, la presión y el volumen constituyen una pareja de variables conjugadas.

Este trabajo puede referirse a compresión o a expansión, se adopta positivo el trabajo realizado por el fluido contra el medio en una expansión ($dV>0$) y negativo al recibido de dicho medio en una compresión ($dV<0$).

2.4. Principios de la termodinámica

Un principio constituye una proposición evidente, no puede demostrarse, eso equivale a fundamentarlo en otra verdad, la cual sería el verdadero principio, sin embargo se pueden medir y cuantificar de forma experimental observando los resultados que producen.

2.4.1. Primer Principio de la termodinámica

El primer principio se puede enunciar de la siguiente manera: El calor puede ser transformado en trabajo mecánico o recíprocamente, y existe una relación constante entre la cantidad de calor desaparecida o entregada y el trabajo producido o viceversa. Aunque dicha energía puede transformarse en otra forma de energía, éste principio afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede cambiar de una forma a otra.

- Sistemas cerrados

Considerando un sistema cerrado que efectúa un ciclo y que solo intercambia calor y trabajo con el medio exterior, cuando el sistema recorre un ciclo se observa que:

Si el sistema realiza un trabajo, recibe calor.

Si el sistema recibe un trabajo, cede calor.

Existe una relación constante, es decir una equivalencia entre las energías térmicas y mecánicas intercambiadas.

El sistema parte de un estado A y luego del recorrido AMBNA vuelve a ese primer estado, es evidente que si ha efectuado un trabajo L contra el medio exterior quedando al final igual que al principio, debe recibir de éste medio otra forma de la energía, es decir Q , además como el sistema al finalizar el ciclo no modifica su estado ello significa que no ha ganado ni perdido ninguna cantidad energía y ello exige que el calor recibido sea equivalente al trabajo realizado.

$$Q = A.L \quad (11)$$

A es un coeficiente de proporcionalidad para expresar el trabajo en unidades térmicas, entonces:

$$Q - A.L = 0 \quad (12)$$



Figura 2.1: Transformación AMBN

En la misma forma en que L es el trabajo neto del ciclo, que resulta positivo en una parte del mismo y negativo en otra, la cantidad de calor Q es también la cantidad neta que el sistema absorbió al recorrer su ciclo, debiendo en cierta parte del ciclo recibirse calor y en otra entregarse al medio exterior.

- Sistemas abiertos

La ecuación 12 puede escribirse como:

$$\int_c d(Q - AL) = 0 \quad (13)$$

Que al recorrer un ciclo completo vale cero. Llamado U a la función Q-A.L

$$d(Q - AL) = dU \quad (14)$$

Entonces:

$$\int_c dU = 0 \quad (15)$$

La variación de U es la misma yendo por el camino AMB o por ANB y como los puntos M y N pueden ser cualesquiera el valor que toma la función U al pasar de A a B depende de los estados inicial y final y no del camino seguido, por ésto U es considerada función de estado.

Integrando la ecuación entre los estados A y B se llega al valor que toma la expresión

$$Q - AL \quad (16)$$

Para una transformación abierta que es:

$$Q - AL = U_B - U_A \quad (17)$$

$$Q = U_B - U_A + AL = \Delta U + AL \quad (18)$$

Entonces al cambiar una cantidad de calor Q el sistema con el medio exterior, ella es igual a la variación de energía interna del sistema más el trabajo realizado o recibido en la transformación.

2.4.2 Segundo Principio de la termodinámica

Se denomina máquina térmica al conjunto de mecanismos en los cuales se obtiene un trabajo mecánico L haciendo recorrer a un fluido un ciclo periódico y suministrándole una cantidad de energía, en éste caso, calor Q_1 .

Se llama rendimiento a la relación que existe entre el equivalente térmico del trabajo realizado por el fluido que evoluciona y la cantidad de calor suministrada.

$$\eta = \frac{A.L}{Q_1} \quad (19)$$

El segundo principio puede enunciarse de la siguiente manera: Para poder obtener trabajo mecánico del calor es necesario la existencia de dos fuentes de calor a distintas temperaturas, una será la fuente caliente que entrega calor al sistema y otra será la fría que recibe el calor del sistema. El calor no puede pasar por sí mismo de una fuente fría a otra caliente, o de forma más general, todo proceso espontáneo, es decir, aquél que se produce sin la intervención de acciones exteriores, es irreversible, por lo tanto no puede volverse a su estado original por medio de ningún procedimiento.

La existencia de la fuente fría necesaria para realizar el ciclo, trae como consecuencia que de las Q_1 kilocalorías entregadas al fluido, éste debe devolverle Q_2 kilocalorías almacenando finalmente $Q_1 - Q_2$ kilocalorías que se transforman en trabajo $A.L$. Por ésto es imposible la transformación de la totalidad del calor Q_1 entregado al fluido en trabajo, por lo tanto tampoco es posible obtener un rendimiento térmico igual a la unidad.

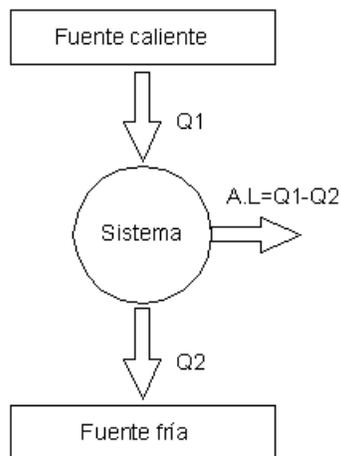


Figura 2.2: Trabajo de una máquina térmica

2.5 Ciclo de Carnot

Para conocer el valor del rendimiento máximo de una máquina térmica, Carnot concibió y publicó en el año 1824, un ciclo ideal que era reversible, constituido por cuatro transformaciones: dos adiabáticas y dos isotérmicas reversibles. Para recorrer éste ciclo el fluido debe efectuar una expansión isotérmica (AB) en la cual trabajo se realiza tomando Q_1 kilocalorías de la fuente caliente a temperatura T_1 . Realiza luego la expansión adiabática (BC) en la cual el trabajo de expansión se realiza por una caída en la temperatura de T_1 a T_2 . Continúa el ciclo con la compresión (CD) para lo cual el fluido cede Q_2 kilocalorías a la fuente fría a temperatura T_2 . Finalmente se completa el ciclo con la compresión adiabática (DA) elevando la temperatura del fluido de T_2 a T_1 . Todas éstas transformaciones son reversibles y se realizan de manera sumamente lenta.

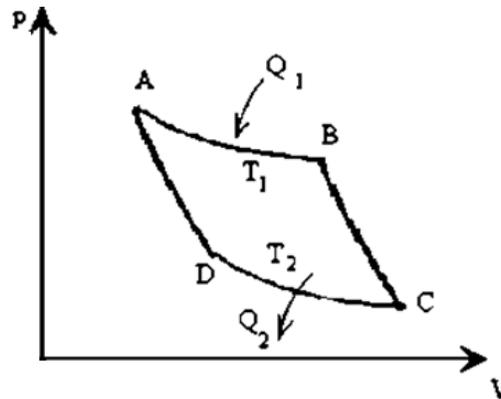


Figura 2.3: Diagrama de estado del ciclo de Carnot

2.6 Teorema de Carnot

El rendimiento de una máquina con el ciclo de Carnot no puede ser superado por máquina alguna que funcione entre las mismas temperaturas, es independiente de la sustancia que recorre el ciclo y solo depende de las temperaturas de las dos fuentes.

Para demostrar ésto se deben suponer dos máquinas térmicas, una C reversible de Carnot y otra M cualquiera que realizan el mismo trabajo entre las mismas fuentes. La máquina C, toma Q_1 de la fuente caliente y deposita Q_2 en la fuente fría realizando el trabajo

$$A.L = Q_1 - Q_2 \quad (20)$$

La máquina M efectúa un ciclo cualquiera que da el mismo trabajo tomando Q_1' y entregando Q_2' por lo tanto

$$A.L = Q_1' - Q_2' \quad (21)$$

De la ecuación 20 y 21 resulta que:

$$Q_1' - Q_2' = Q_1 - Q_2 \quad (23)$$

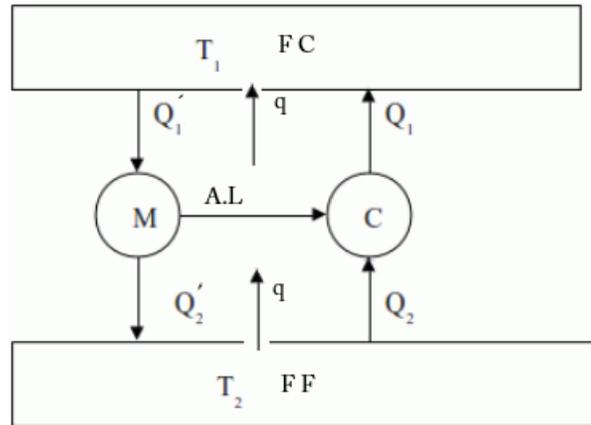


Figura 2.4: Representación del teorema de Carnot

Si suponemos que el rendimiento de la máquina M es mayor que el de la máquina C de Carnot

$$\eta_M = \frac{A.L}{Q_1'} * \frac{A.L}{Q_1} = \eta_C \quad (24)$$

Para que se cumpla lo anterior es evidente que $Q_1 > Q_1'$ entonces la (5) nos da que $Q_2 > Q_2'$, es decir que la máquina de Carnot para realizar el mismo trabajo debe tomar más cantidad de calor de la fuente caliente y depositar más calor en la fuente fría.

Si la máquina de Carnot es reversible, puede funcionar en sentido inverso recibiendo el trabajo A.L entregado por la máquina M y transportando calor de la fuente fría a la caliente. Si designamos q a la diferencia

$$Q_1 - Q_1' = Q_2 - Q_2' = q \quad (25)$$

Se observa que al haber supuesto $Q_1 > Q_1'$ y $Q_2 > Q_2'$ la cantidad de calor q pasa por si sola de la fuente fría a la caliente contrariando el enunciado del segundo principio. Luego el rendimiento de la máquina de Carnot no puede ser superado.

El rendimiento resulta igual para cualquier sustancia, y para calcularlo se puede considerar un cierto fluido que recorre el ciclo de Carnot, aplicando la definición de rendimiento y de acuerdo al primer principio

$$\eta = \frac{A.L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (26)$$

Teniendo en cuenta que las cantidades de calor están puestas en juego a lo largo de transformaciones isotérmicas (temperatura constante) y el trabajo a lo largo de transformaciones adiabáticas (calor constante), se puede llegar a la expresión

$$\eta = \frac{A.L}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (27)$$

La ecuación demuestra que se obtienen mayores niveles de eficiencia con un mayor gradiente de temperatura entre los fluidos calientes y fríos. En la práctica, cuanto más caliente el fluido, mayor será la eficiencia de la máquina.

En una máquina térmica, se transforma el calor en trabajo, y éste se obtiene de la diferencia entre el calor que cede la fuente caliente al sistema y el que éste cede a la fuente fría. En una máquina frigorífica el calor se transporta de la fuente fría a la fuente caliente, pero según el enunciado del segundo principio dado por Clausius el calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo frío a otro caliente, entonces la máquina frigorífica es posible si se produce una entrega o destrucción de trabajo.

2.7 Entropía

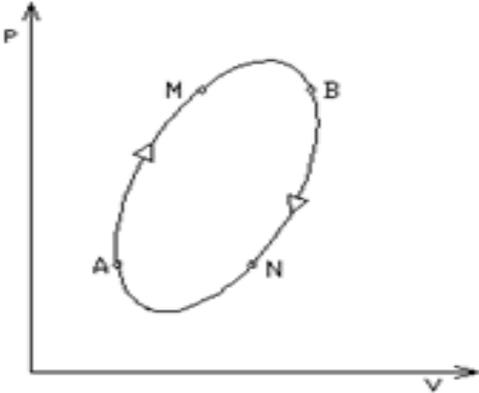
Considerando un fluido que realiza una transformación reversible cualquiera denominada AB, pudiendo ésta evolucionar pasando por M o por N en sentido inverso, para un cierto desarrollo infinitesimal de la transformación, el fluido tendrá una temperatura T, el mismo habrá intercambiado una cantidad infinitesimal de calor dQ, y la relación entre la cantidad de calor intercambiada y la temperatura también será una cantidad infinitesimal, que se suele denominar como:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (28)$$

Si se suman todas las cantidades dS que se generarían al finalizar la transformación se obtiene

$$\int_A^B \frac{dQ}{T} = \int_A^B dS = S_B - S_A = S \quad (29)$$

Figura 2.5: Transformación AMBN



Como la transformación es reversible:

$$\int_A^B \frac{dQ}{T} = \int_B^A \frac{dQ}{T} \quad (30)$$

El valor que tome la integral depende de los valores iniciales y finales de la transformación y no del camino seguido por la misma, es por ésto que se puede definir a S como una función de estado llamada entropía que solo puede establecerse matemáticamente ya que no puede percibirse sensorialmente ni medirse por medio de

instrumentos, su unidad es caloría/kelvin $\frac{cal}{K}$ y si se expresa por unidad de masa es caloría/kg.kelvin $\frac{cal}{Kg.K}$.

2.7.1 Diagrama entrópico

Por ser la entropía una función de estado, puede ser utilizada como un parámetro del sistema y representar una de las coordenadas en el gráfico de estados de equilibrio del sistema, denominándose diagrama entrópico.

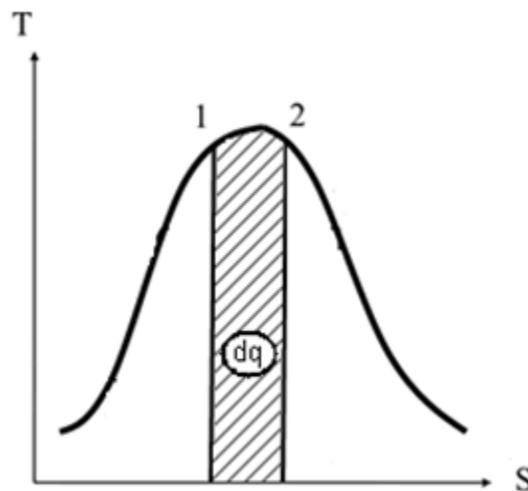


Figura 2.6: Diagrama entrópico

$$dS = \frac{dq}{T} \quad dq = dS \cdot T \quad q = \int T \cdot dS \quad (31)$$

Si la transformación es reversible y adiabática, $q = cte.$ y $dq = 0$ entonces $dS = 0$ por lo tanto $S = 0$. Entonces toda transformación reversible y adiabática es isotrópica.

2.8 Ciclo de Rankine

Como en la realidad resulta imposible una máquina térmica que funcione con el ciclo de Carnot, el funcionamiento de estas máquinas se explica por medio del ciclo de Rankine.

El fluido circula por los distintos elementos que conforman la instalación que hace posible el ciclo: una caldera, un sobrecalentador, una turbina, un condensador, una bomba y un economizador.

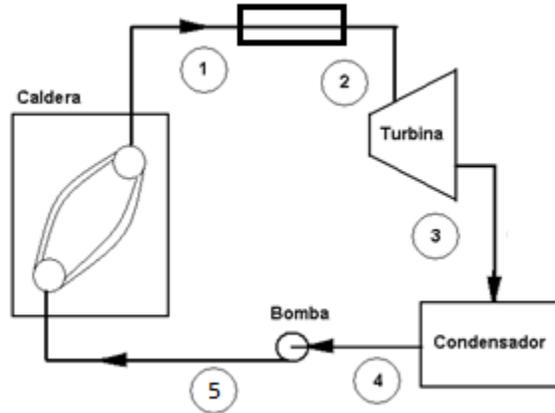


Figura 2.7: Esquema del ciclo de Rankine

El fluido circula abandonando la caldera en estado de vapor seco saturado (1) entra a un sobrecalentador (1-2) para pasar a ser vapor seco sobrecalentado luego sale del sobrecalentador y entra a la turbina donde se produce una expansión que produce un descenso de la temperatura (2-3) y por esto se trasforma en vapor húmedo, luego entra a un condensador (o sale a la atmosfera) en donde se produce la condensación a presión y a temperatura constante, perdiendo calor, pasando al estado líquido, (3-4). El líquido es sometido a la acción de una bomba, manteniendo su volumen constante ya que supone incompresible, aumentando la presión (4-5) para introducirlo nuevamente en la caldera y volver a comenzar el ciclo.

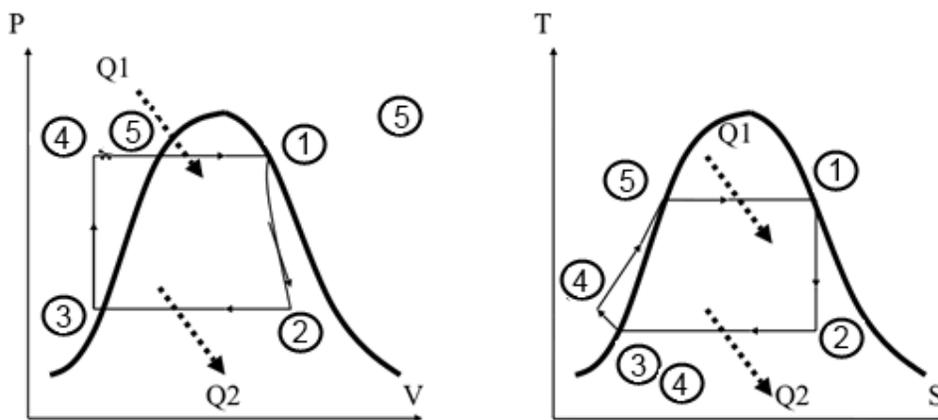


Figura 2.8: Ciclo de Rankine a régimen húmedo (sin sobrecalentador)

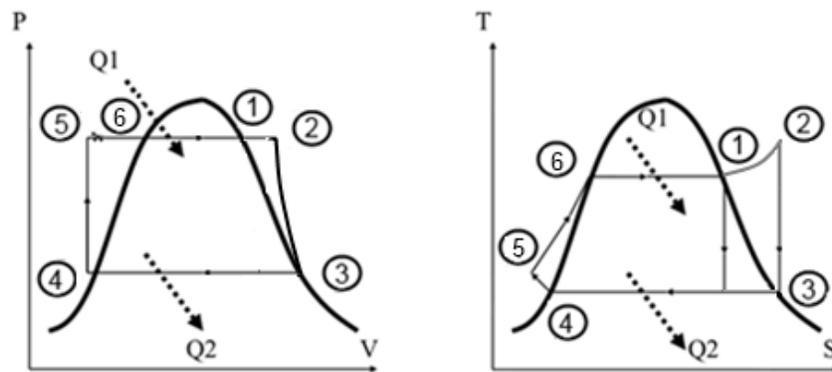


Figura 2.9: Ciclo de Rankine a régimen seco

El ciclo de Rankine difiere del ciclo de Carnot por el hecho de que cuando el fluido es comprimido no se alcanza el punto 5, (temperatura de saturación) sino el punto 4, que se encuentra en una isoterma inferior, entonces el fluido ingresa a la caldera a una temperatura inferior respecto a la cual ésta se encuentra, esto genera un descenso de temperatura en la fuente caliente, lo que representa también una irreversibilidad en el ciclo por lo cual disminuye la posibilidad de producir trabajo según el segundo principio, esto puede mejorarse por medio de un economizador (intercambiador) que aprovecha el vapor que escapa de la caldera captándolo, para calentar al líquido antes de que ingrese a la caldera por lo que la línea que representa la transformación 4-5 tendería a acercarse a la línea de saturación.

2.9 Ciclos frigoríficos

De acuerdo al segundo principio, resulta imposible transportar directamente el calor de un cuerpo frío a otro caliente, a menos que al mismo tiempo exista un transporte de calor de un cuerpo caliente a otro frío.

En las máquinas térmicas se transforma calor en trabajo y éste se obtenía de la diferencia entre el calor que cede la fuente caliente al sistema y el que éste cede a la fuente fría.

Una máquina frigorífica funciona transportando calor de una fuente fría a otra más caliente, pero según el enunciado del segundo principio, el calor no puede pasar por sí mismo de un cuerpo frío a otro caliente, entonces el funcionamiento de la misma es posible si se produce destrucción o entrega de trabajo. La máquina frigorífica resulta ser la inversa de la máquina térmica.

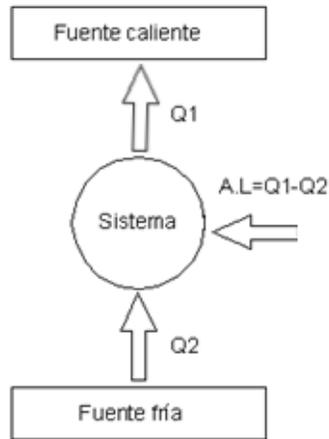


Figura 2.10: Trabajo de una máquina frigorífica

La eficiencia de la máquina frigorífica se conoce por medio del coeficiente de efecto frigorífico

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A.L} \quad (32)$$

El valor máximo de este coeficiente estaría dado por una máquina ideal de Carnot que funcione entre temperaturas T_1 y T_2 .

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (33)$$

Resulta fácil concebir el ciclo de Carnot a una máquina frigorífica. De acuerdo al gráfico del diagrama entrópico, el segmento 1-2 representa la compresión adiabática reversible lograda mediante el trabajo suministrado, 2-3, el proceso de condensación cediendo calor en la fuente caliente, 3-4, la expansión adiabática con producción de trabajo mecánico y 1-4, el proceso de vaporización en el evaporador mediante el cual se obtiene el poder refrigerante Q_2 al quitar ésta cantidad de calor de la fuente fría.

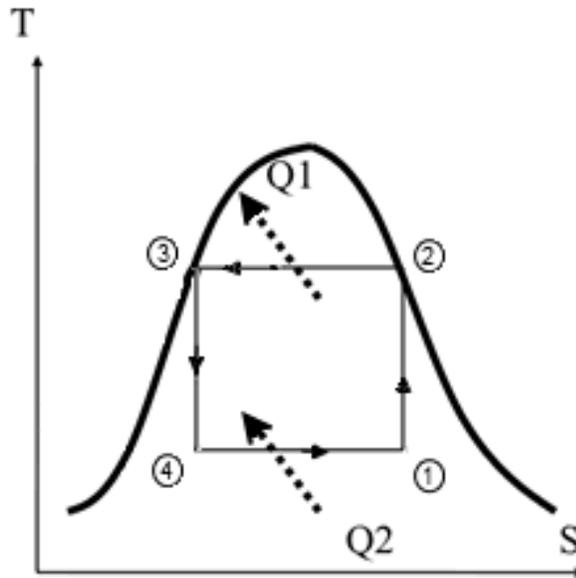


Figura 2.11: Diagrama entrópico para el ciclo frigorífico

El fluido refrigerante circula por los distintos elementos que permiten la realización del ciclo: un evaporador, un compresor, un condensador y una válvula de expansión.

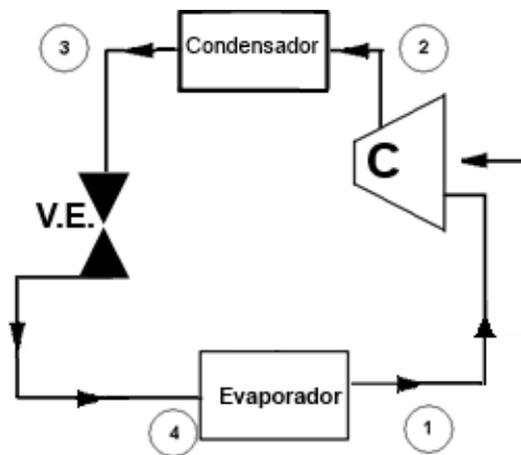


Figura 2.12: Esquema del ciclo frigorífico

En este ciclo la expansión en vez de producirse por medio de una turbina, se lleva a cabo por medio de una válvula ya que se trabaja con refrigerantes líquidos que afectarían los mecanismos de la turbina.

El fluido refrigerante abandona el evaporador en estado de vapor húmedo (1), pasa a través de un filtro separador de líquido(2) ya que la humedad es perjudicial para los mecanismos de la instalación, luego entra a un compresor donde es comprimido en una transformación adiabática reversible (isoentrópica 2-3), aumentando la temperatura convirtiéndose en vapor saturado y para esto es necesario gastar una cierta cantidad de trabajo L , luego el vapor se condensa a presión P_1 y a temperatura T_1 constante, (3-4), entregando calor Q_1 al medio, en estado líquido saturado se produce una expansión isoentálpica (4-5), al pasar por una válvula reductora de presión aumentando la entropía y disminuyendo la presión y la temperatura transformándose en vapor húmedo. Luego el vapor húmedo se introduce en un evaporador donde se absorbe calor del medio circundante que se encuentra a temperatura T_2 (4-1) para entrar nuevamente al compresor y comenzar nuevamente el ciclo.

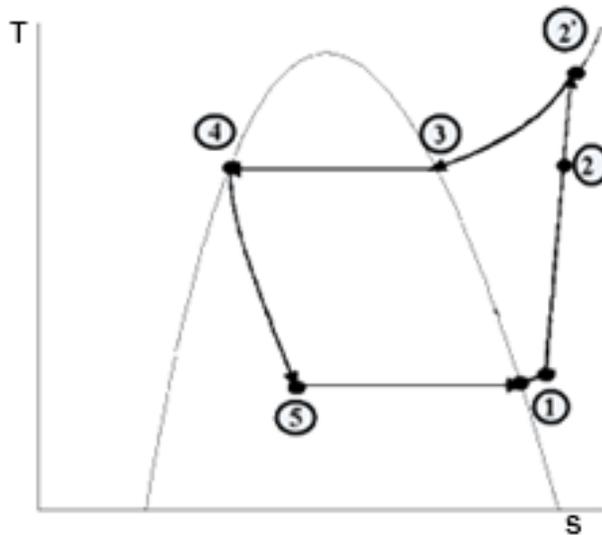


Figura 2.13: Ciclo frigorífico a régimen seco

El ciclo difiere del ciclo de Carnot para máquina frigorífica (ciclo inverso) por el hecho de que en la expansión no se alcanza el punto 4, es decir que la transformación no es isoentrópica (adiabática reversible), sino que es isoentálpica (adiabática irreversible).

Se pueden aplicar mejoras al ciclo de refrigeración para mejorar su eficiencia, algunas de ellas son:

Subenfriamiento: Se enfría el fluido refrigerante que sale del condensador, aumentando la cantidad de calor que es extraído al medio circundante, aumentando de ésta manera el coeficiente de efecto frigorífico.

Doble compresión: Se realiza un enfriamiento intermedio a presión constante durante la compresión, al comprimir primero en un cilindro y luego en otro, produciendo

una disminución del trabajo a gastar durante la compresión. Aumenta el efecto frigorífico, pero se debe tener en cuenta que mientras mayor sea la diferencia entre las temperaturas T_1 y T_2 , la expansión 5-6 se corre más hacia la derecha disminuyendo la cantidad de calor extraído Q_2 , y por lo tanto el efecto frigorífico.

Doble estrangulación: El inconveniente en la mejora anterior se corrige parcialmente permitiendo que el fluido que sale del condensador se expanda primero en una válvula a una presión intermedia y luego en otra aumentando de esta forma el calor extraído Q_2 .



Figura 2.14: Ciclo frigorífico con subenfriamiento.

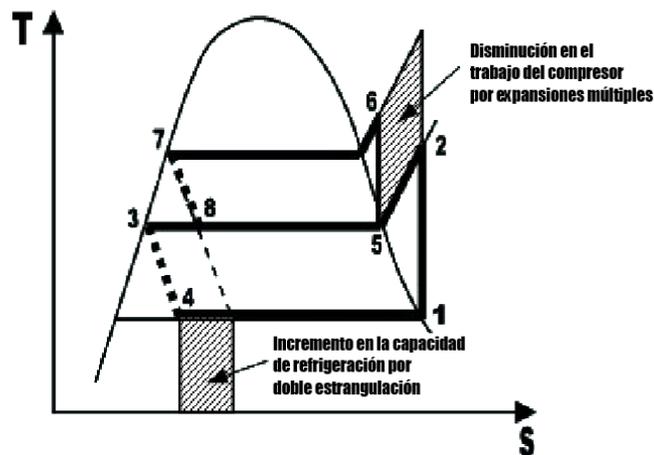


Figura 2.15: Ciclo frigorífico con exp. múltiples y doble estrang.

ANEXO 3

Eficiencia energética

3.1. Introducción

La eficiencia energética puede entenderse como la meta de reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios. Por ejemplo, la aislación de la envolvente permite a un edificio utilizar menos energía de calefacción y de refrigeración para lograr y mantener una temperatura confortable en las distintas épocas del año. Instalación de luces fluorescentes o lucernarios naturales reducen la cantidad de energía necesaria para alcanzar el mismo nivel de iluminación en comparación con el uso de bombillas incandescentes tradicionales. Las luces fluorescentes compactas utilizan un tercio de la energía de las luces incandescentes y pueden durar de 6 a 10 veces más. Las mejoras en la eficiencia energética se logran con mayor frecuencia mediante la adopción de una tecnología o proceso de producción más eficiente.

Hay muchas motivaciones para mejorar la eficiencia energética. Reducir el uso de energía reduce los costos de energía y puede resultar en un ahorro a los consumidores si el ahorro de energía compensa los costes adicionales de la implementación de una nueva tecnología. Reducir el consumo de energía también es visto como una solución al problema de la reducción de las emisiones de gases a la atmósfera. Según la Agencia Internacional de Energía, la mejora de la eficiencia energética en los edificios, procesos industriales y en el transporte podría reducir la demanda de energía del mundo en el año 2050 en un tercio, y ayudar al control de emisiones de gases de efecto invernadero.

No debería confundirse eficiencia energética con conservación de la energía, ya que ésta se refiere a la reducción de la energía mediante la disminución del uso de un servicio de energía constante. Por ejemplo, conducir menos un automóvil es un ejemplo de conservación de la energía. Conducir la misma cantidad de kilómetros con un vehículo de kilometraje superior es un ejemplo de eficiencia energética. La conservación y la eficiencia energética son dos técnicas de reducción de energía.

La diferencia entre el uso eficiente de la energía y la conservación de la energía puede ser confusa en algunos aspectos, ambos son importantes desde el punto de vista ambiental y económico.

3.2. Eficiencia energética

Para intentar entender la importancia o relevancia de la eficiencia energética, debemos volver tiempo atrás, hacia la crisis del petróleo que sufrió EEUU y los países aliados europeos entre octubre de 1973 y marzo de 1974, cuando la OAPEC

(Organization of Arab Petroleum Exporting Countries: Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo) decide detener la producción de petróleo y establecer un embargo para los envíos petrolíferos hacia occidente, especialmente hacia EEUU y los Países Bajos como estrategia política derivada de la guerra árabe israelí del Yom Kippur.

Los efectos del embargo fueron inmediatos. La OAPEP obligó a las compañías petroleras a aumentar los precios de forma drástica. El precio del petróleo se cuadruplicó de 1973 a 1974.

Debido a la interdependencia mundial a nivel social y económico, los países industrializados importadores de petróleo asistieron a una repentina inflación y una recesión económica. En los países industrializados, especialmente en Estados Unidos, la crisis provocó que las condiciones de vida se volvieran muy adversas tanto para los desempleados, como para los trabajadores. En EEUU las fábricas se vieron obligadas reducir la producción y el personal, las escuelas y oficinas tuvieron que cerrar en varias oportunidades para ahorrar el combustible de la calefacción.

Esta escasez llevó al racionamiento de gasolina, cambios de horario en verano, y además se estableció un límite máximo de velocidad de 55 mph (aproximadamente 90 km/h) mediante la Ley de Emergencia de Ahorro de Energía en Autovías de 1974 y los fabricantes de automóviles de EEUU pusieron en marcha una reducción de los tamaños de los automóviles según los estándares de la CAFE (Corporate Average Fuel Economy) para limitar el consumo a 9 litros de combustible cada 100 kilómetros durante el año 1975.

La crisis energética condujo a aumentar el interés por las energías renovables y estimuló la investigación en la energía solar y eólica. Esta también produjo una mayor presión para explotar los yacimientos petrolíferos de los países afectados que veían un aumento de su dependencia al carbón y a la energía nuclear. Por otro lado se comenzó a incentivar cada vez más el uso de transporte público.

El embargo se levantó en marzo de 1974 después de las negociaciones de la Cumbre Petrolífera de Washington, pero los efectos de la crisis energética se notaron durante toda la década de 1970. El precio de la energía continuó aumentando en los años siguientes, en consonancia con el debilitamiento del dólar en los mercados mundiales.

La base para entender el concepto de la eficiencia energética es el flujo de la energía, desde la energía primaria contenida en portadores de energía hasta la energía útil consumida a través de diversas actividades de la sociedad.

La eficiencia energética tiene que ver con hacer frente a las pérdidas de energía, ésto se reduce a la siguiente ecuación que es muy simple:

$$E \text{ útil} = E \text{ primaria} - \text{pérdidas}$$

Las pérdidas se producen en los procesos de transformación, transmisión y distribución de energía, así como en los usos finales de la energía. Aunque la reducción de las pérdidas en las tres primeras actividades es principalmente una cuestión de tecnología, la última debe resolverse mediante medidas tanto técnicas como no técnicas. A menudo ciertos usos innecesarios de energía podrían evitarse con una mejor organización, una mejor gestión de la energía y algunos cambios en el comportamiento de los consumidores y cada vez más, cambiando el estilo de vida de los mismos, que es la parte más difícil. La eficiencia energética debe considerarse como un proceso continuo

que no incluye sólo las acciones puntuales para evitar el uso excesivo de energía y para reducir al mínimo las pérdidas, sino que también incluye el seguimiento y el control del consumo de energía con el fin de alcanzar el nivel de consumo mínimo de energía continua. Por lo tanto, las mejoras de eficiencia energética se apoyan en los siguientes pilares (Morvaj y Bukarica, 2010):

- Evitar el uso excesivo e innecesario de energía a través de la regulación (por ejemplo, códigos de construcción y normas mínimas) y las políticas que estimulan los cambios de comportamiento en los usuarios consumidores.
- La reducción de las pérdidas de energía mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética y nuevas tecnologías (por ejemplo, recuperación de calor residual o el uso de la iluminación de bajo consumo).
- Monitoreo del consumo de energía con el fin de mejorar el conocimiento sobre los patrones de consumo de energía y sus consecuencias (por ejemplo, contadores inteligentes y precios en tiempo real).
- Gestión de consumo de energía mediante la mejora de las prácticas de operación y mantenimiento.

Es posible entender que para garantizar la continuidad de las mejoras obtenidas a partir de la eficiencia energética, el consumo de energía tiene que ser manejado como cualquier otra actividad de la sociedad.

3.3. Razón de ser la eficiencia energética

La eficiencia energética debe considerarse como un medio para lograr una asignación eficiente de los recursos en general (Dennis, 2006), en lugar de la meta en sí misma. Como consecuencia de la mejora de la eficiencia energética, otros objetivos de política pública se alcanzarían, siendo algunos de los más importantes, los objetivos del desarrollo económico y la mitigación del cambio climático.

En términos económicos, y teniendo en cuenta el hecho de que los costos de energía en el mundo, por lo general representan del 15 al 20 por ciento del producto bruto interno nacional, la importancia de la eficiencia energética es evidente, la reducción del consumo de energía reduce los costos de la producción de energía. Por ejemplo, se estima que la Unión Europea, si bien es la región energéticamente más eficiente del mundo, todavía utiliza el 20 por ciento más de energía de lo que sería económicamente justificada, que es el equivalente a de 390 millones de toneladas de petróleo (Comisión Europea, 2006).

En los últimos dos siglos, la capacidad humana para aprovechar la energía o transformar calor en trabajo, ha mejorado de forma drástica. Con la aparición de la primera máquina de vapor en Gran Bretaña (Watt, 1781), la eficiencia termodinámica paso del 1% al 40% en motores actuales, y hasta el 70% en las plantas de generación de energía actuales. A pesar de esta revolución en la eficiencia, el consumo per cápita de energía siempre ha aumentado (Banks, 2007).

El creciente problema de la conservación de la energía ha llevado a considerar la eficiencia energética no solo como una característica del crecimiento económico, sino también como una de las causas (Ayres y Warr, 2004). Por lo tanto, se podría preguntar si es posible aumentar la eficiencia, reducir el consumo de energía global, y promover

el desarrollo económico dentro de un patrón de disminución de energía, mediante la separación de la eficiencia y el crecimiento del consumo de la energía.

En 1865, el economista Stanley Jevons fue el primero en señalar la existencia de un proceso de causalidad circular que une la eficiencia energética, el uso de la energía, y el sistema económico. Jevons estaba convencido de que la eficiencia fue una fuerza impulsora del crecimiento y el desarrollo de la energía a lo largo de la historia.

Jevons planteó una paradoja respecto a la eficiencia que ha sido abordada en el campo de la Economía y fue denominada luego como "efecto rebote". Ha sido objeto de artículos de investigación, así como también de una gran controversia sobre las dos últimas décadas (Schipper, 2000). Aunque muchos economistas siguen siendo escépticos en cuanto a su relevancia actual, la mayoría de ellos han estado de acuerdo en la existencia y la importancia de ese efecto.

La paradoja de Jevons formalmente dice que aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo, lo que provoca un incremento del consumo global. Esta observación no es una paradoja lógica, pero sigue siendo considerada como una paradoja por los economistas pues se opone a la intuición económica de que la mejora de la eficiencia permite a las personas usar menos cantidad de un recurso.

Por paradójico que parezca el efecto rebote, puede ser explicado por la teoría económica clásica. La energía es una demanda derivada, ya que no es el bien real adquirido, sino un medio por el cual se disfruta de un bien o un servicio. Por lo tanto, la tecnología que es capaz de reducir la cantidad de energía empleada por el bien o servicio reduce el coste de dicho elemento. Se dice que las mejoras de eficiencia reducen el precio implícito de los bienes y servicios de energía y, de acuerdo con la teoría básica de las ofertas y demandas del mercado, la cantidad de bienes consumidos aumenta cuando los precios disminuyen.

Jevons introdujo la paradoja mucho antes del desarrollo de la eficiencia energética tal como lo conocemos hoy, él pensó que cualquier mejora tecnológica que hace la fuente de energía más económica, estimularía la demanda de esa energía.

Existen distintos puntos de vistas que están en contra de la paradoja. Primero, considerando un mercado económico maduro como el del petróleo en los países desarrollados, se ha comprobado que las consecuencias directas del efecto rebote son muy pequeñas comparadas con los aumentos en la eficiencia de los combustibles derivados del petróleo y usualmente éstos aumentos disminuyen el uso de esa fuente. Segundo, si sucediera que el aumento en la eficiencia energética no disminuya el consumo de la fuente, igualmente pueden encontrarse beneficios asociados a esa mejora, como por ejemplo, mitigar la suba de precios, reducir los problemas durante la escasez, etc. Tercero, economistas ambientales indicaron que el uso de combustibles se vería reducido si el aumento de la eficiencia se encuentra acompañado de alguna intervención que permita mantener el precio del combustible de forma estable.

3.4. Proyecciones a nivel mundial Internacional

Según el informe acerca de la perspectiva energética internacional realizado en el año 2008 por la EIA (Energy Information Administration: Administración de información energética) , el cual refleja el escenario energético mundial proyectado al año 2030

considerando las normativas vigentes hasta ese año, se estima que el consumo de energía en todo el mundo crecería en un 50% durante ese periodo de 25 años, de 462 cuatrillones de BTU a 695 cuatrillones de BTU, más allá del aumento que se espera en el precio del petróleo para ese entonces.

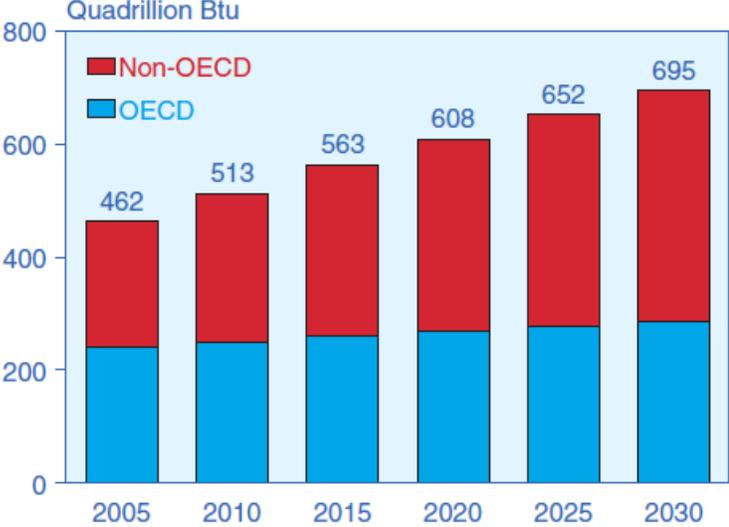


Figura 3.1: Proyección del consumo de energía

Este comportamiento a nivel mundial puede observarse desde hace ya varias décadas.

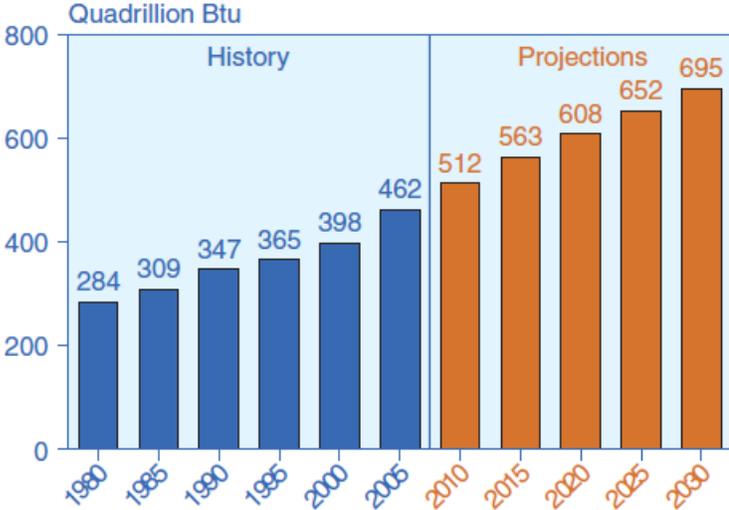


Figura 3.2: Historia y proyección del consumo energético a nivel mundial

Se observa que en países miembros de la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development: Organización para la cooperación y el desarrollo

económico) el aumento del consumo energético sería menor, aproximadamente de un 15 %, debido a la implementación de normativas, mientras que en el resto de los países el aumento podría llegar a ser del 85% en el peor de los casos.

Se espera que el consumo de gas aumente durante el periodo de proyección, no solo debido al aumento en la demanda y en el precio del petróleo sino también por el hecho de que la combustión de gas natural produce menos dióxido de carbono que la combustión de cualquier otro combustible líquido, por lo tanto el gas reemplazaría progresivamente a los demás combustibles cuando sea posible, ésto también se encontraría influenciado por los planes y programas energéticos que desarrollen los gobiernos durante los próximos 25 años.

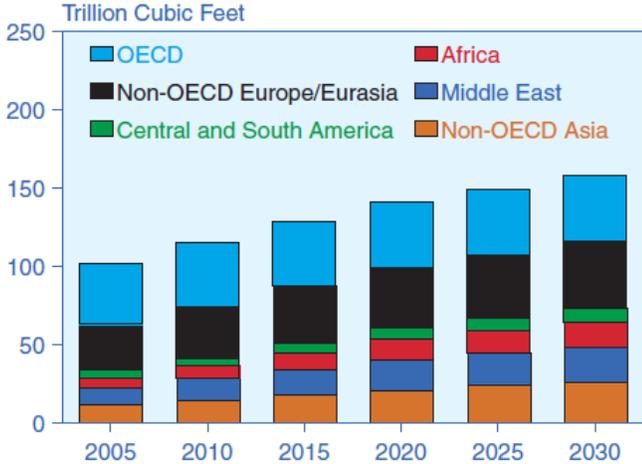


Figura 3.3: Proyección del consumo de gas natural

Se observa que la mayor demanda de gas se generaría en los países no miembros de la OECD, principalmente en aquellos ubicados en Europa.

También se estima que para el año 2025 el carbón y el gas presenten la mayor demanda para la generación de electricidad, la generación de energía por medio de combustibles fósiles se podría ver disminuida por posibles aumentos en la implementación de acuerdos internacionales que intenten disminuir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera como ya está sucediendo en algunos países, principalmente de Europa.

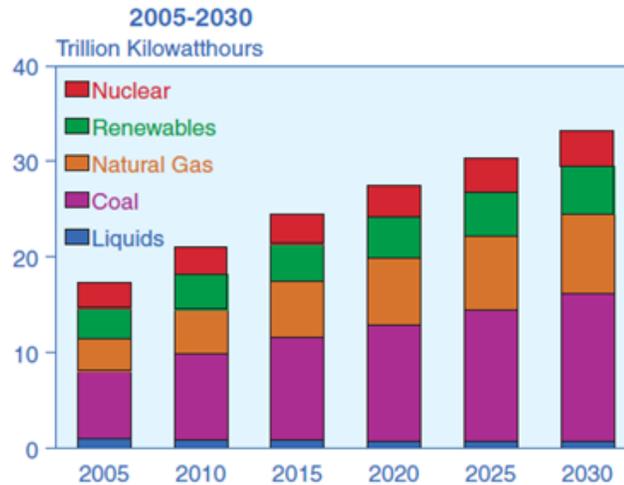
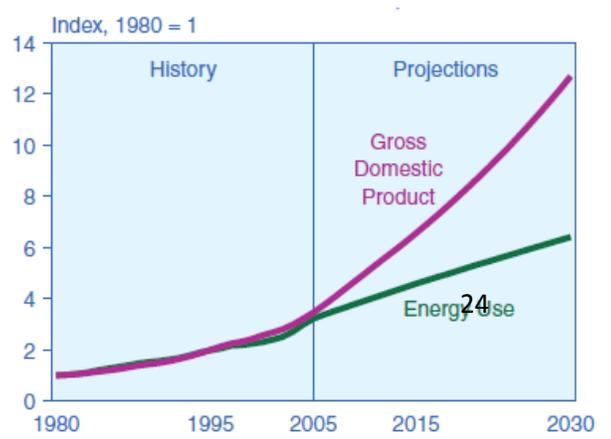
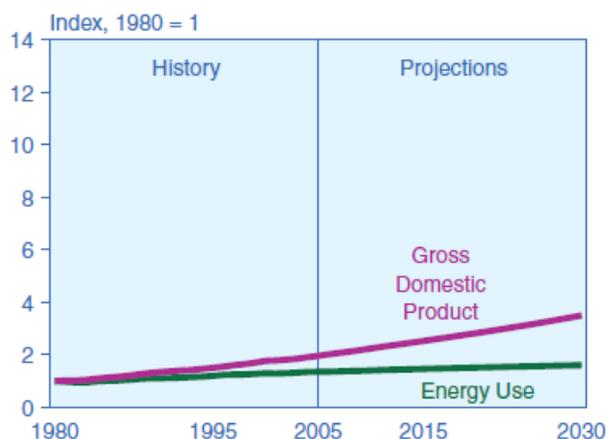


Figura 3.4: Proyección del consumo de distintos combustibles

Se observa que actualmente el carbón es el combustible más utilizado para la generación de energía eléctrica, representando solamente China el 23 % del consumo mundial.

Cabe destacar que el consumo de energía en el sector residencial alcanza entre el 15 % y el 20% a nivel mundial, excluyendo el transporte. El tamaño físico de las estructuras residenciales suele ser el factor primordial para definir el consumo de energía residencial, ya que mientras más grandes sean los espacios, más energía se necesita para calefaccionarlos, acondicionarlos e iluminarlos.

El desarrollo económico y el consumo de energía están directamente relacionados, la fuerza de ésta relación varía en cada región del mundo, tanto es así que en algunas, el desarrollo económico medido por medio del producto bruto interno, es mayor que el consumo de energía, éste es el caso de la mayoría de los miembros de la OECD como por ejemplo Canadá y Nueva Zelanda, en otras sucede a la inversa como en Rusia y en países de Europa oriental. Sucede que en países desarrollados con altos estándares de vida, se tienen altos niveles de consumo de energía per cápita pero éstos también tienden a poseer economías con consumos energéticos muy estables que cambian muy lentamente en comparación con su crecimiento económico.



3.5. Normativas sobre eficiencia energética

3.5.1 Panorama mundial.

El interés por la eficiencia energética de los edificios es anterior a la crisis del petróleo, las primeras normas de eficiencia energética residenciales se establecieron por primera vez en la década de 1950 por la Agencia de Financiamiento de la Vivienda y el Hogar, un predecesor del Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de EE.UU., en respuesta a la morosidad de las hipotecas en hogares con altas facturas de servicios públicos.

- ASHRAE

Las primeras normas de eficiencia comercial fueron establecidas por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) como una respuesta al apagón de Nueva York en el año 1970.

En 1975 ASHRAE publica el estándar 90.1, Conservación de la energía en edificios, con el apoyo técnico de la Sociedad de Ingenieros de la Iluminación de EEUU. Debido a que no había existido antes un estándar a nivel nacional, éste fue la primera alerta para arquitectos e ingenieros respecto a las consecuencias energéticas que resultaban de sus diseños.

En 1994 surge el Consejo Reglamentario Internacional (International Code Council), como una entidad sin fines de lucro para desarrollar un conjunto coordinado y comprensivo de códigos nacionales para la construcción de edificios, cuatro años más tarde el ICC introduce el código internacional para la conservación de energía (IECC).

Tanto el estándar 90.1 como el IECC se actualizan regularmente y han servido hasta el día de hoy como base para la mayoría de los países del mundo para regular el diseño de la construcción de los nuevos edificios.

Certificación en edificios.

Además de los códigos energéticos orientados a la construcción, también existen sistemas de certificación para los edificios. La certificación energética se define como la descripción de las características energéticas de los edificios que aporta información acerca de las posibilidades reales actuales y futuras (mediante la propuesta de opciones de mejora) a los usuarios interesados del sector edilicio. Esto favorecería una mayor transparencia en el mercado inmobiliario y facilitaría la priorización de beneficios

crediticios hacia un menor consumo de energía primaria y por lo tanto menores emisiones de CO₂ atendiendo a mejorar la calidad de vida dentro de las ciudades.

Existen distintos sistemas de certificación como el Sistema de Clasificación Energética Residencial (Home Energy Rating Systems, HERS), que determina el costo anual de energía para un hogar y le asigna un coeficiente de 0 a 100, correspondiéndose un mayor coeficiente con una mayor eficiencia, el Energy Star es otro sistema de certificación pero que no provee de forma directa un índice de clasificación aunque se ha comprobado un 15 % de ahorro en hogares en EE.UU. que adoptaron éste sistema, o La Directiva en Diseño Energético y Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design, LEED) sistema de certificación de edificios, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos en 1998 que posee cuatro niveles de certificación para edificios energéticamente sostenibles, certificado (LEED Certificate), plata (LEED Silver), oro (LEED Gold) y platino (LEED Platinum). Actualmente es el sistema más utilizado.

La eficiencia energética de un edificio se determina calculando o midiendo el consumo de energía necesaria para satisfacer anualmente la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación. La eficiencia energética de un edificio suele expresarse de forma cualitativa o cuantitativa de distintas formas: mediante indicadores, índices, calificación o letras de una escala que varía de mayor a menor eficiencia, determinada convencionalmente.

La calificación energética se expresa a través de varios indicadores que permiten explicar las razones de un buen o mal comportamiento energético del edificio y proporcionan información útil sobre los aspectos a tener en cuenta a la hora de proponer recomendaciones que mejoren dicho comportamiento.

El indicador energético principal o global es el correspondiente a las emisiones anuales de CO₂, expresadas en kg por m² de superficie útil del edificio. Los indicadores complementarios son por orden de prioridad los siguientes:

- a. Energía primaria no renovable anual, en kWh por m² de superficie del edificio.
- b. Energía primaria total anual, en kWh por m² de superficie útil del edificio.
- c. Porcentaje de energía primaria anual procedente de fuentes de energías renovables respecto a la energía primaria total anual.
- d. Energía primaria anual procedente de fuentes renovables, en kWh por m² de superficie útil del edificio.
- e. Energía primaria total anual desagregada por usos de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación, en kWh por m² de superficie útil del edificio.
- f. Demanda energética anual de calefacción, en kWh por m² de superficie útil del edificio.
- g. Demanda energética anual de refrigeración, en kWh por m² de superficie útil del edificio.

- h. Emisiones anuales de CO₂, expresadas en kg por m² de superficie útil del edificio, desagregada por usos de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación.

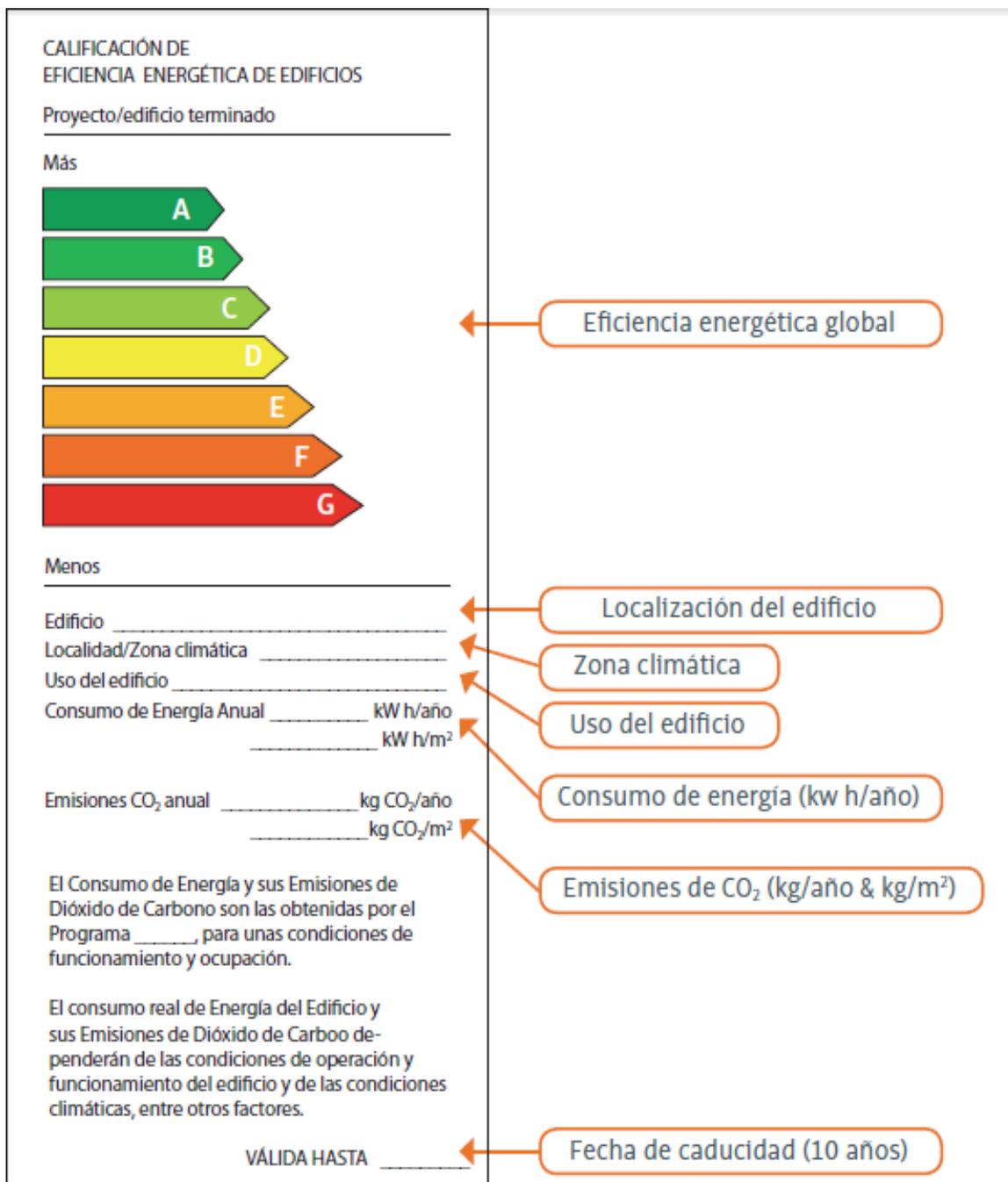


Figura 3.7: Etiqueta para certificación de edificios sostenibles

Calificación de eficiencia energética del edificio	Índices de calificación de eficiencia energética
A	$C1 < 0,15$
B	$0,15 \leq C1 < 0.50$
C	$0.50 \leq C1 < 1.00$
D	$1.00 \leq C1 < 1,75$
E	$C1 > 1,75$ y $C2 < 1.00$
F	$C1 > 1,75$ y $1.00 \leq C2 < 1.5$
G	$C1 > 1,75$ y $1.50 \leq C2$

Figura 3.8: Clasificación de eficiencia energética para edificios residenciales

La calificación de eficiencia energética asignada al edificio será la correspondiente a los índices de calificación de eficiencia energética obtenidos por el mismo, dentro de una escala de siete letras, que va desde la letra A (edificio más eficiente) a la letra G (edificio menos eficiente).

El índice de calificación de eficiencia energética denotado con la letra C se obtiene de fórmula empírica y en forma general la expresión es el cociente entre las emisiones anuales de CO₂ o el consumo anual de energía primaria no renovable del edificio a certificar y las emisiones de CO₂ o el consumo anual de energía primaria no renovable del edificio de referencia, según corresponda.

- Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos

El Consejo de la Construcción Ecológica de Estados Unidos (U.S. Green Building Council - USGBC) es una organización sin fines de lucro creada en el año 1993 que promueve la sostenibilidad en el diseño, construcción y funcionamiento de los edificios en EE.UU, tiene la misión de “transformar la manera en que los edificios y las comunidades se diseñan, se construyen y se operan, permitiendo un entorno próspero, sano, medioambiental y socialmente responsable que mejore la calidad de vida”.

Es conocido principalmente por el desarrollo del sistema LEED, y por promover los edificios que son medioambientalmente responsables, provechosos y lugares sanos donde vivir y trabajar en sociedad. Para alcanzar ésto ha desarrollado una variedad de programas y servicios, que trabajan de cerca con organizaciones de la industria dominante, con las agencias de investigación y con las agencias tanto federales, del estado, así como con las locales.

- Departamento de Energía de EEUU.

Estados Unidos fue el principal afectado por embargo del petróleo en 1973, como resultado de aquello, nacieron muchas iniciativas del gobierno hacia la conservación de la energía incluyendo gastos masivos en su investigación, redacción de nuevas leyes, e incentivos para favorecer las actividades que permitan la conservación de energía.

En 1977 se llevó a cabo la formación del Departamento de Energía de los EEUU (Department of Energy, DOE). Fundado como respuesta a la crisis energética sufrida en el país en esa década y a la necesidad de una planificación unificada de energía, el DOE consolidó la Administración Federal de Energía, la Administración de Desarrollo de Investigación de Energía y la Comisión Federal de Electricidad, y otros programas del gobierno en un solo departamento de nivel ministerial para proporcionar el marco de un nuevo plan nacional de energía.

- Administración de información energética.

La Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA) es el organismo de estadística y de análisis y actualmente pertenece Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). Se estableció por primera vez en 1974 tras la crisis del mercado del petróleo de 1973 y se encarga de recoger, analizar y difundir información independiente e imparcial de energía para promover la formulación de políticas de mercados eficientes, y la comprensión pública del uso de la energía y su interacción con la economía y el medio ambiente.

La EIA es la fuente principal de información sobre la energía de EE.UU. La Ley orgánica del Departamento de Energía de 1977 estableció a la EIA como principal autoridad del gobierno federal sobre estadísticas de energía y análisis, y por ésta ley, sus datos, análisis y previsiones son independientes de la aprobación de cualquier otro funcionario o empleado del Gobierno de los Estados Unidos.

La EIA lleva a cabo un programa de recopilación de datos completo que cubre todo el espectro de fuentes de energía, usos finales, y flujos de energía realizando un análisis informativo sobre la energía. Difunde sus datos, análisis, informes y servicios a clientes e interesados principalmente a través de su página web y el centro de atención al cliente. Los programas de evaluación de impacto ambiental cubren los datos sobre carbón, petróleo, gas natural, energía eléctrica, energía renovable y energía nuclear.

- Acta de Política Energética

En 1992 el acta de Política Energética (EPACT 1992) se convirtió en ley en EEUU, ésta ley contiene muchas disposiciones importantes sobre eficiencia energética. Dentro de ella se abordaron los códigos de construcción energética ya existentes, pero además se agregaron requisitos de eficiencia a los distintos equipamientos dentro del mismo, se implementaron etiquetas de eficiencia energética para electrodomésticos, se dieron subsidios para la construcción e iluminación de centros regionales establecidos en cada una de las diez regiones atendidas hasta ese año por el DOE, e incluyó la reforma regulatoria de servicio de gas y electricidad. Otras mejoras se llevaron a cabo en la actualización del EPACT durante el año 2005.

Las edificaciones juegan un papel prioritario en la sostenibilidad de las sociedades, puesto que representan, en los países desarrollados, el primer foco de emisiones de CO₂, seguidas del sector transporte y de la industria. Además, según la EIA, las edificaciones son responsables del 40% del consumo de energía primaria, el 72% del consumo

de energía eléctrica y el 13% del consumo de agua potable, por lo tanto, un diseño y operación adecuados de ellas, pueden suponer grandes mejoras en el objetivo de crear una sociedad sostenible.

- Protocolo de Montreal 1987

El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan el ozono de la atmósfera es un tratado internacional diseñado para proteger la capa de ozono reduciendo la producción y el consumo de numerosas sustancias que se ha estudiado, que reaccionan con el ozono y se cree que son responsables por el

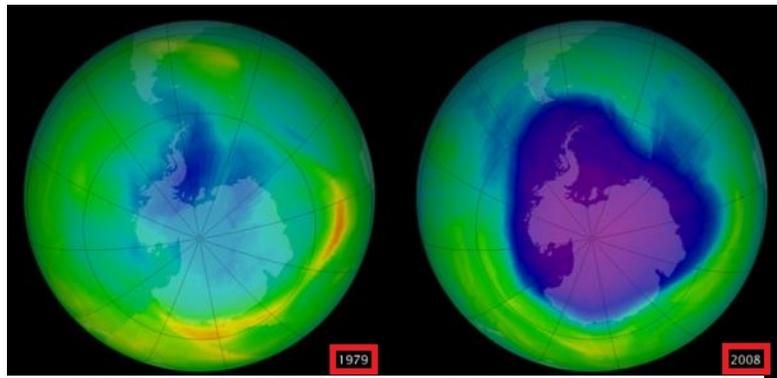


Figura 3.10: Evolución del agotamiento de la capa de ozono

agotamiento de la capa ozono. El acuerdo fue negociado en 1987 y entró en vigor el 1 de enero de 1989. La primera reunión de las partes se celebró en Helsinki en mayo de ese 1989. Desde ese momento, el documento ha sido revisado en varias ocasiones, en 1990 (Londres), en 1991 (Nairobi), en 1992 (Copenhague), en 1993 (Bangkok), en 1995 (Viena), en 1997 (Montreal) y en 1999 (Pekín). Se cree que si todos los países cumplen con los objetivos propuestos dentro del tratado, la capa de ozono podría haberse recuperado para el año 2050. Debido al alto grado de aceptación e implementación que se ha logrado, el tratado ha sido considerado como un ejemplo excepcional de

operación internacional.

- Carta de eficiencia energética. (Energy Charter Treaty).

La carta sobre el tratado de la energía es un acuerdo internacional, que establece un marco multilateral para unir la colaboración de las industrias asociadas con el uso de la energía. El tratado cubre todas actividades comerciales energéticas como los distintos mercados económicos energéticos, el transporte y la eficiencia energética. Tiene su origen en el año 1991 siendo su objetivo original integrar los sectores energéticos de la Unión Soviética con los del resto de Europa del Este a los mercados mundiales, al finalizar la Guerra Fría.

El compromiso de la carta en materia de eficiencia energética y medio ambiente fue introducido en la declaración del año 1991, en particular, el artículo 19 exige que cada una de las partes interesadas realice un esfuerzo de manera económicamente eficiente para disminuir el daño del medio ambiente por medio de un mejor uso de la energía. En el año 1994 la carta se convirtió en ley junto con el Protocolo de Eficiencia Energética (Protocol on Energy Efficiency and Related Environmental Aspects, PEEREA), pero comenzaron a tener vigencia a partir de abril de 1998. El PEEREA exige que todos los estados miembros desarrollen normativas claras para implementar medidas de eficiencia energética. La implementación del PEEREA provee a los estados miembros una gama de buenas prácticas de uso de la energía y un foro para compartir experiencias y consejos sobre políticas de eficiencia energética, dentro del foro se le presta especial atención a distintas estrategias energéticas nacionales como cambios en las tarifas de los servicios,

en los precios del sector, aplicación de subsidios, entre otros objetivos para financiar los objetivos de la eficiencia energética.

- Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados como los hidrofluorocarbonos (HFC) en un porcentaje aproximado de al menos un 5 %, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. Por ejemplo, si las emisiones de éstos gases en el año 1990 alcanzaban el 100 %, para el año 2012 deberán de haberse reducido como mínimo al 95 %. Es preciso



Figura 3.11: Países adheridos al protocolo de Kioto

señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5% como mínimo, sino que éste es un porcentaje a nivel global y, por el contrario, cada país obligado por el protocolo de Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir la contaminación global. El protocolo fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. En noviembre de 2009, eran 187 estados los que ratificaron el protocolo. EE.UU., el mayor emisor de gases de invernadero mundial, no ha ratificado el protocolo.

El instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro y vino a dar fuerza vinculante a lo que en ese entonces no pudo hacer la CMNUCC.

- Informe Stern sobre la economía del cambio climático.

El Informe Stern sobre la economía del cambio climático (Stern Review on the Economics of Climate Change) es un informe sobre el impacto del cambio climático y el calentamiento global sobre la economía mundial. Redactado por el economista Sir Nicholas Stern por encargo del gobierno del Reino Unido fue publicado el 30 de

octubre de 2006, con 700 páginas de extensión, el informe supone un hito histórico al ser el primer informe encargado por un gobierno a un economista en lugar de a un climatólogo. La principal conclusión a la que llega es aquella que afirma la necesidad de una inversión equivalente al 1% del producto bruto interno (PBI) mundial para mitigar los efectos del cambio climático y que de no hacerse dicha inversión el mundo se expondría a una recesión que podría alcanzar el 20% del PBI global. El informe también sugiere la imposición de ecotasas (Green tax) para minimizar los desequilibrios socioeconómicos, afirmando también que: Nuestras acciones en las décadas inmediatamente venideras pueden implicar el riesgo de una disrupción de la actividad económica y social durante el resto de Éste siglo y el siguiente, de una escala parecida a la de las grandes guerras y la Gran Depresión.

3.5.2. Panorama nacional

En el periodo de 30 años desde 1978 hasta 2008, Argentina ha tenido acceso a yacimientos de gas y de petróleo que han permitido satisfacer una demanda energética creciente a costos reducidos comparados con los precios en mercados internacionales. Como resultado, Argentina demuestra una alta dependencia en energías no renovables, con un 89 % de los recursos energéticos totales provenientes de fuentes fósiles.

La mayoría de ellos son de gas, (49 %), después siguen los combustibles líquidos, (39 %), y finalmente se encuentra el carbón mineral (1%), según el Balance Energético Nacional (BEN, 2010). Las energías renovables en la forma de hidroelectricidad, biocombustibles y otros recursos renovables solo corresponden a 6 %.

En total, un 28,1 % de todos los recursos energéticos corresponden a la demanda del sector edilicio que incluye vivienda, edificios comerciales, públicos y otros. Esta demanda es principalmente para acondicionamiento térmico y lumínico, refrigeración, calefacción, ventilación e iluminación.

La falta de gas, especialmente en invierno ha provocado cortes de éste combustible al sector industrial y de generación eléctrica a fin de satisfacer de demanda del sector edilicio, especialmente vivienda.

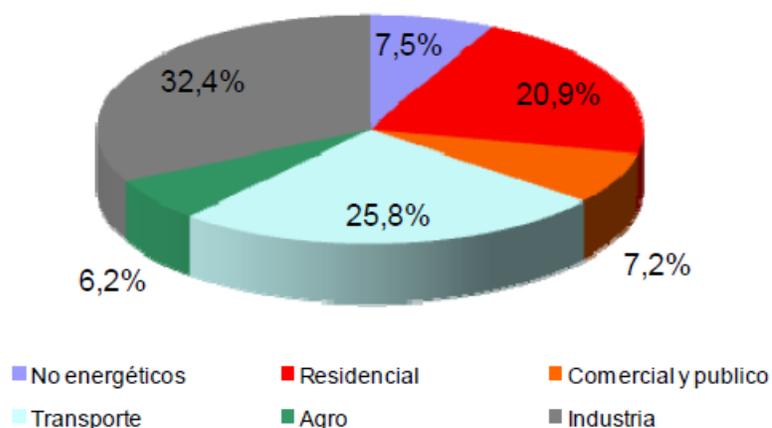


Figura 3.12: Sectores consumidores de energía

Es evidente que las medidas de eficiencia energética en vivienda deben enfatizar la conservación de calor en invierno con mejor aislación térmica en muros y techos, ventanas de superficies controladas eventualmente con DVH (Doble Vidriado Hermético), y control de infiltraciones. En edificios públicos, especialmente edificios de gran superficie construida, el énfasis de eficiencia se debe centrar en los sistemas de refrigeración e iluminación.

- Secretaria de energía.

La Secretaria de Energía de la Nación, pertenece al ministerio de planificación federal de inversión pública y servicios dentro del poder ejecutivo nacional y tiene como objetivos:

a. Entender en la elaboración, propuesta y ejecución de la política nacional en materia de energía, con un amplio criterio de coordinación federal con las jurisdicciones provinciales, supervisando su cumplimiento y proponiendo el marco regulatorio destinado a facilitar su ejecución.

b. Estudiar y analizar el comportamiento de los mercados energéticos, elaborando el planeamiento estratégico en materia de energía eléctrica, hidrocarburos y otros combustibles, promoviendo políticas de competencia y de eficiencia en la asignación de recursos.

c. Atender, cuando corresponda, los recursos de carácter administrativo que se interpongan contra las resoluciones emanadas del órgano superior de los entes descentralizados de su jurisdicción, con motivo de sus actividades específicas.

d. Conducir las acciones tendientes a aplicar la política sectorial orientando el proceso de adaptación de los nuevos operadores al interés general respetando la explotación racional de los recursos y la preservación del ambiente.

e. Intervenir en los acuerdos de cooperación e integración internacionales e interjurisdiccionales, en los que la Nación sea parte, y supervisar los mismos, coordinando las negociaciones con los organismos crediticios internacionales.

f. Efectuar la propuesta y control de la ejecución de la política nacional de hidrocarburos y otros combustibles, en lo que hace a la promoción y regulación de sus etapas de exploración, explotación, transporte y distribución, en coordinación con las demás áreas competentes.

g. Estudiar y analizar el comportamiento del mercado desregulado de hidrocarburos, promoviendo políticas de competencia y de eficiencia en la asignación de recursos.

h. Promover y supervisar la explotación racional de los recursos hidrocarburíferos y la preservación del ambiente en todas las etapas de la industria petrolera.

i. Intervenir en el control respecto de aquellos entes u organismos de control de los servicios públicos privatizados o concesionados, cuando éstos tengan una vinculación funcional con la Secretaría, y, en la supervisión del cumplimiento de los marcos regulatorios correspondientes.

Participar en el ámbito de su competencia en todo lo atinente al Fondo Fiduciario Federal De Infraestructura Regional creado por la Ley N° 24.855.

- Área de coordinación de eficiencia energética

La secretaria de energía de la nación crea el área de coordinación de eficiencia energética cuyo objetivo es definir las políticas y los programas que promuevan el uso eficiente de la energía, lo que no significa consumir menos sino consumir mejor manteniendo el mismo nivel de prestaciones.

PRONUREE: Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía

El PRONUREE es un programa nacional puesto en vigencia en el año 2007, mediante el Decreto N° 140/2007. El PRONUREE tiene por objetivo mejorar la eficiencia energética de los distintos sectores consumidores de energía de la nación.

Con el Decreto N° 140/2007, del 21 de diciembre de 2007, declara de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía, así como también la caracteriza como una actividad permanente e imprescindible de la política energética. La Secretaría de Energía es el organismo de ejecución del programa.

El decreto establece los lineamientos al que deberá ajustarse el PROGRAMA DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGIA (PROUREE) en todos los edificios públicos de todos los organismos del Poder Ejecutivo Nacional (PEN). Este Programa es ejecutado por la Jefatura de Gabinete de Ministros (JGM) en coordinación y con el apoyo técnico de la Secretaría de Energía.

El PRONUREE incluye una serie de iniciativas de corto y mediano plazo que tienen al sector público como principal protagonista. El nuevo plan, que al decir sus propias palabras, apunta a la "eficiencia energética permanente" comprende las siguientes medidas de corto plazo:

El reemplazo masivo de los focos comunes por lámparas de bajo consumo en las casas de familia. El primer paso para el cambio de los focos lo realizó el Estado a principios del año 2008 con la adquisición, en una primera etapa, de 5 y en una segunda etapa, de 20 millones de lámparas de bajo consumo que se repartieron sin cargo por medio de las empresas distribuidoras eléctricas.

La reducción de los consumos eléctricos en todos los edificios del sector público perteneciente a la Administración Pública Nacional (APN). Las acciones previstas incluyen, entre otras, la regulación de los equipos de aire acondicionado en 24 °C, el apagado de los equipos eléctricos después de las 18 horas y la no utilización de las luces ornamentales.

De acuerdo con las estimaciones de la Secretaría de Energía la implementación del PRONUREE permitiría reaprovechar hacia el año 2016 unos 2.000 MW de potencia y un ahorro de energía de 17.000 GWh en dicho año, que equivale al 16% de la demanda de energía del año 2008.

Dirección Nacional de Promoción

La secretaria de energía de la nación crea la dirección nacional de promoción, y por medio del mismo se impulsan distintos programas sobre el uso eficiente de la energía como el etiquetado de eficiencia energética obligatorio para la comercialización de artefactos eléctricos que cumplan entre otras, las funciones de refrigeración, iluminación, acondicionamiento de aire, lavado y secado de ropas, fuerza de accionamiento eléctrico,

etc.

Como respuesta a la importancia del sector y las oportunidades de introducir medidas de eficiencia, se han desarrollado nuevas normativas a fin de promover proyectos de menor demanda de energía, con mayor impulso desde la aprobación del PRONUREE (2007):

Ley 13.059 (2003) de la Provincia de Buenos Aires para promover eficiencia energética, con aplicación obligatoria de Normas IRAM de aislación térmica (IRAM 11.604, 11.604), de control de condensación (11.625 y 11.630) y control de infiltraciones de aire en carpinterías. Las normas establecidas por ley son aplicables a todos los edificios nuevos de la Provincia desde su reglamentación (Decreto 1030, 2010).

Normas IRAM

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (Originalmente llamado Instituto Argentino de Racionalización de Materiales: IRAM) es el instituto encargado de la normalización y certificación en Argentina. Se trata de una asociación civil sin fines de lucro cuyos orígenes se remontan al 2 de mayo de 1935.

El Instituto es una organización no gubernamental reconocida a nivel nacional en el año 1994 y ha desarrollado desde sus comienzos una serie de normas asociadas con la eficiencia energética. Algunas de éstas son las siguientes:

IRAM 11900: Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente.

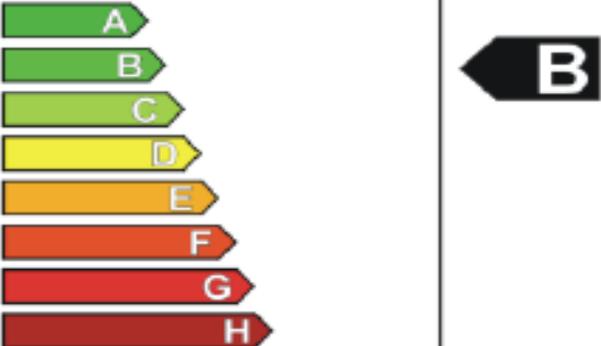
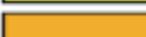
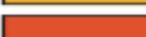
Energía de calefacción	
Dirección postal Identificación catastral	Envolvente edilicia
Más eficiente	
 A	
 B	
 C	
 D	
 E	
 F	
 G	
 H	
Menos eficiente	
τ_m	°C
$K'm$	°C
Temperatura de diseño mínima exterior, según IRAM 11603	°C
Temperatura de diseño interior	20 °C
Superficie cubierta	m ²
Profesional responsable	
Certificado N°	
Fecha evaluación	
Fecha emisión certificado	
IRAM 11900	

Figura 3.7: Etiqueta para certificación de edificios sostenibles IRAM 11900

Clases de eficiencia energética	Condición ¹⁾
A	$\tau_m \leq 1 \text{ }^\circ\text{C}$
B	$1 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$
C	$1,5 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$
D	$2 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$
E	$2,5 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$
F	$3 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$
G	$3,5 \text{ }^\circ\text{C} < \tau_m \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$
H	$\tau_m > 4 \text{ }^\circ\text{C}$

¹⁾ τ_m es la variación media ponderada de la temperatura, entre la superficie interior de la envolvente y la temperatura interior de diseño, en grados Celsius.

Figura 3.9: Clasificación de eficiencia energética para edificios

Donde τ_m es la variación media ponderada de la temperatura y $K' m$ la transmitancia térmica media ponderada.

IRAM 11930: Construcción sostenible. Principios generales

IRAM 11507-4: Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4: Requisitos complementarios. Aislación térmica.

IRAM 21931-1: Construcción sostenible. Marco de referencia para los métodos de evaluación del desempeño ambiental de las obras de construcción. Parte 1: Edificios (en estudio)

IRAM 11604: Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. (En revisión)

IRAM 11659-2: Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Edificios para viviendas.

IRAM 11659-3: Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 3: Oficinas.

Desde abril del 2004, y a pedido de la Secretaría de Energía de la Nación, IRAM desarrollo determinadas normas para el etiquetado energético de distintos artefactos eléctricos.

Existen básicamente tres tipos de etiquetas:

Etiquetas de aprobación sobre una especificación (expresan conformidad)

Etiquetas de comparación (dan información para permitir la comparación)

Etiquetas de información únicamente (únicamente proporcionan datos del producto)

IRAM 19050-1: Etiquetado de eficiencia energética de artefactos a gas para uso doméstico. Parte 1 - Artefactos de cocción.

IRAM 19050-2: Etiquetado de eficiencia energética de artefactos de producción instantánea de agua caliente (calefones) para uso doméstico.

IRAM 19050-3: Etiquetado de eficiencia energética en aparatos a gas. Parte 3 - Artefactos de calentamiento de agua.

IRAM 2141-3: Lavarropas eléctricos. Parte 3: Etiquetado de eficiencia energética.

IRAM 2404-3: Aparatos para refrigeración domésticos. Determinación del consumo de energía y sus características asociadas del nivel de ruido. Parte 3: Etiquetado

IRAM 62404-1: Etiquetado de eficiencia energética para lámparas eléctricas para iluminación general. Parte 1: Lámparas incandescentes

IRAM 62404-2: Etiquetado de eficiencia energética de lámparas eléctricas para iluminación general. Parte 2: Lámparas fluorescentes

IRAM 62406: Etiquetado de eficiencia energética para acondicionadores de aire.

IRAM 62408: Etiquetado de eficiencia energética para bombas centrífugas (en estudio)

Las normas definen 7 clases de eficiencia energética (A, B, C, D, E, F y G), a excepción de los edificios que presentan 8 clases, (se está tratando la eliminación de la clase H) y los motores trifásicos que presentan 4 clases, siendo en todos los casos la clase A, la más eficiente.

Normalmente, la aplicación de éstas normas es voluntaria, pero dada la intervención de la Secretaría de Energía de la Nación a través del dictado de ciertas resoluciones, las lámparas incandescentes, las fluorescentes, las heladeras y los acondicionadores de aire, son los artefactos obligados a presentar etiqueta de eficiencia energética al momento de su comercialización.

A continuación se presenta la estructura de la etiqueta que deben presentar los artefactos de acondicionamiento de aire a fin de mostrar los datos que contiene.

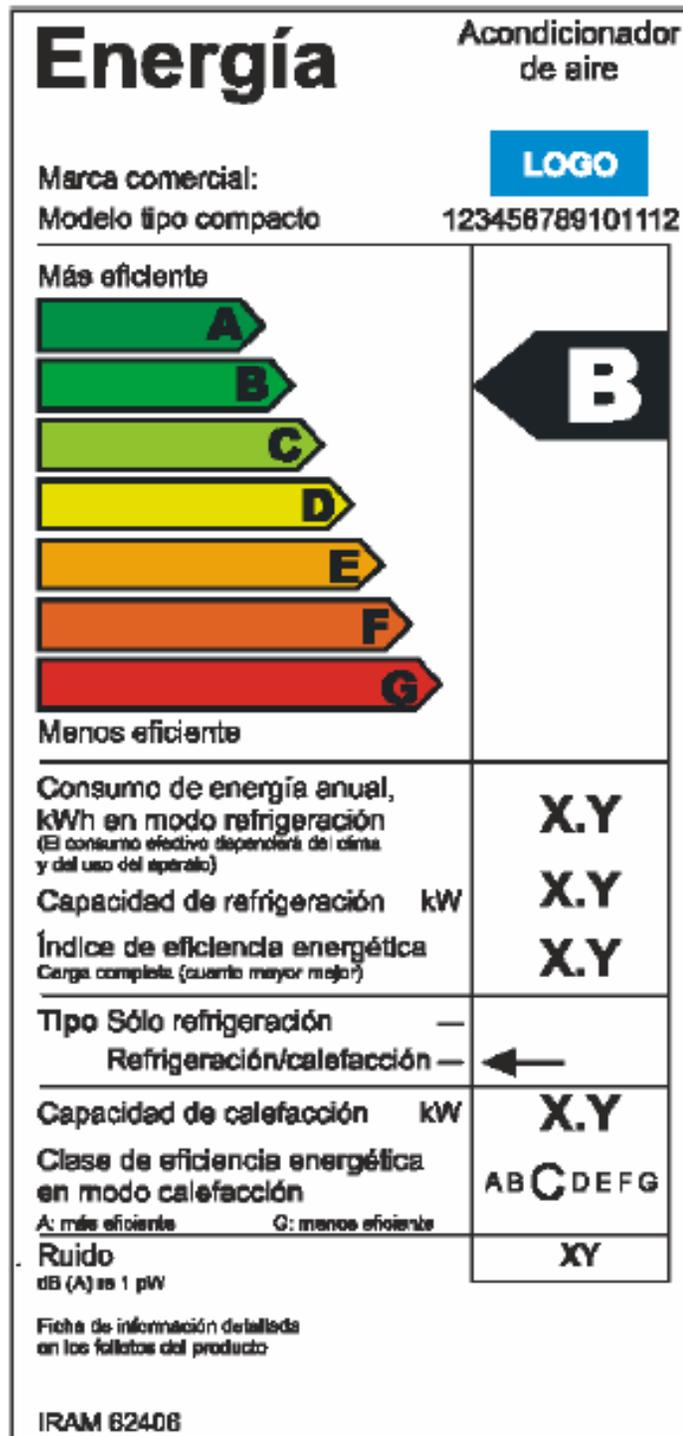


Figura 3.13: Etiqueta de eficiencia energética para aire acondicionado IRAM 62408

Cualquiera sea el organismo certificador, esta es la etiqueta que deben presentar ya que es la que figura en la norma IRAM correspondiente al producto.

Las Normas IRAM 11.604, 11.605 de aislación térmica y las Normas IRAM 11.625 y 11.630 de control de condensación fueron desarrollados inicialmente para vivienda de interés social y su aplicación a otros tipos de edificios no siempre produce resultados apropiados.

Las normas para control de infiltraciones fueron desarrolladas principalmente para edificios en altura donde la estanqueidad de ventanas es crítica. La aplicación de la misma norma para vivienda unifamiliar en zonas suburbanas introduce exigencias de costosa resolución.

Ley nacional 25019: Declárese de interés nacional la generación de energía eléctrica de origen eólica y solar en todo el territorio nacional. El artículo 5 declara una retribución de 0.01 \$ por KWh eólico y el artículo 7 una estabilidad fiscal de 15 años.

Ley Nacional 26190: Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica para la prestación de servicio público.

Ley nacional 26093: Régimen de regulación y promoción para la producción y usos sustentables de biocombustibles en todo el territorio nacional. Se crea la comisión nacional asesora para la promoción de la producción y uso sustentable de los biocombustibles cuya función será promover y controlar la producción y uso de los mismos así como también establecer normas de calidad y requisitos que deben cumplir las plantas de producción para ser habilitadas, realización de auditorías, etc.

Aun con la introducción de medidas significativas de eficiencia energética, tales como la nueva Ley de la Provincia de Buenos Aires, no se logra una disminución de la demanda de energía en edificios, debido al crecimiento de población y las crecientes expectativas de confort. Por ejemplo, con el mejoramiento del poder adquisitivo, los ocupantes de viviendas empiezan a aumentar las temperaturas interiores en invierno y calefaccionar toda la vivienda en vez de solo el estar. Por lo tanto, el mejoramiento de nuevos edificios debe ser un proceso continuo con la introducción de nuevas exigencias para mejorar la eficiencia a través del tiempo. Para complementar las medidas en nuevos edificios, se requieren campañas de mejoramiento de edificios existentes y sus instalaciones de acondicionamiento térmico y lumínico.

3.5.3. Perspectivas a nivel nacional.

Podríamos decir que los resultados de los programas de Eficiencia Energética que se han ejecutado en la Argentina entre los primeros años de la década del 80 del siglo pasado y el presente no han tenido el impacto esperado.

Las razones son variadas:

La energía en todas sus formas siempre fue relativamente abundante en el país y por lo tanto nunca hubo una política oficial desarrollada con el objetivo de cuidar el uso del recurso energético. Recién en 1979 se creó en Argentina una unidad en la Secretaría de Energía vinculada al uso racional y eficiente de la energía (se llamó "Dirección Nacional de Conservación de Energía")

La sociedad tampoco recibió desde el gobierno ninguna señal explícita y concreta de que había que hacer un uso eficiente de los recursos energéticos. Ni siquiera ante la evidencia de la situación de crisis en la oferta de energía (desde 2005) se hizo un

reconocimiento público explícito, desde el Gobierno, que orientara a los consumidores de energía a ser más eficientes. Recién en 2009 se iniciaron campañas de difusión acerca de la conveniencia de utilizar lámparas fluorescentes compactas y usar racionalmente la electricidad y el gas. Parte de esos esfuerzos fueron liderados por las propias empresas privadas del sector energético.

Las tarifas de los servicios públicos muy rara vez en el país reflejaron los costos reales del suministro más una rentabilidad razonable. Y en este momento la existencia de una enorme masa monetaria de subsidios cruzados hace que resulte muy difícil promover la eficiencia energética en base a parámetros razonables de costo-beneficio.

Una excesiva dependencia de la cooperación internacional; este hecho trajo como efecto paradójico que cuanto más cooperación hubo, menos se involucraban los organismos de definición de políticas de eficiencia energética. Esto se hizo particularmente notorio en el periodo 1992-1999, donde hubo un interesante aporte de la cooperación internacional (Programa URE RA/UE) con la Unión Europea para el desarrollo de estudios y de proyectos demostrativos, varios de los cuales fueron exitosos. Por ese entonces, el gobierno nacional y la Secretaría de Energía se hallaban abocados a las privatizaciones de las empresas del sector energético y simplemente “dejaban hacer” a las actividades vinculadas al uso racional de la energía. Por otro lado, los principales marcos regulatorios vigentes (leyes 24.065 del mercado eléctrico y 24.076 del mercado del gas natural), apenas hacían una mención superficial respecto a la necesidad de usar eficientemente la energía.

Siempre hubo una importante dificultad respecto al financiamiento de proyectos vinculados a eficiencia energética en la Argentina. En parte por las recurrentes crisis financieras entre 1980 y 2002, en parte porque los proyectos no eran suficientemente atractivos en términos de los beneficios económicos que generaban como para repagar inversiones en periodos razonables, en parte porque las instituciones de crédito tradicionales “no entienden” los proyectos de eficiencia, en parte porque los técnicos del sector energético no suelen ser buenos vendedores de sus propias iniciativas como para que se las financien, etc. El resultado final es que no hubo ni hay un flujo de fondos genuinos de financiamiento para este tipo de proyectos. Prueba de ello es que el Proyecto GEF/BM tiene como uno de sus componentes el análisis de la creación de un Fondo Fiduciario que financie proyectos de eficiencia energética.

A pesar de lo citado precedentemente, no se debe sacar la conclusión errónea de que los esfuerzos hechos han fracasado por completo. Muy lentamente, y debido principalmente a las razones citadas en el ítem 1, se ha ido generando una estructura con una solvencia técnica satisfactoria que trabaja en sus respectivos ámbitos con resultados progresivamente mejores en lo que hace a la creación de una conciencia de uso racional y eficiente de la energía en los usuarios consumidores.

Los programas y proyectos de eficiencia energética ejecutados en el pasado se financiaron casi exclusivamente con aportes de la Cooperación Técnica Internacional (por ejemplo, UE, Japón, Alemania). Finalizada la cooperación, éstos programas se vieron discontinuados por falta de financiamiento. Un mayor compromiso por parte del Estado, asignando recursos propios para el financiamiento de las actividades de promoción y fomento de la eficiencia energética es fundamental para asegurar la continuidad ya que resulta muy perjudicial para el desarrollo de una política de eficiencia energética a nivel país, estar empezando siempre de nuevo. En este sentido, el PRONUREE es una prueba evidente que se ha comprendido el rol que debe desempeñar el Estado en esta materia.

El contexto general, influido notablemente desde hace muchos años por el cuidado sobre el impacto ambiental, ha favorecido la visión de que la eficiencia energética es una herramienta muy valiosa para el logro de un desarrollo sustentable. En Argentina, resta que con el tiempo se resuelva una situación poco propicia para el desarrollo masivo de proyectos de eficiencia energética, tal cual es la situación de tarifas bajas para los consumidores, en especial los residenciales, producto de los elevados subsidios que se otorgan desde el gobierno para mantener los costos artificialmente bajos de los insumos energéticos. (Con la excepción de aquellos sectores sociales que probadamente no pueden pagar por ellos).

ANEXO 4

SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN LA PROGRAMACIÓN

4.1 Introducción

En los últimos 40 años, debido al creciente interés en el diseño de edificios energéticamente eficientes se han desarrollado y mejorado una gran variedad de programas de simulación energética, que proporcionan a los usuarios los indicadores más importantes para determinar el rendimiento de una construcción tales como energía utilizada, temperatura, humedad, costos periódicos, entre otros.

Las herramientas de simulación energética predicen el rendimiento energético de un edificio determinado y el confort térmico de sus ocupantes. Estas herramientas permiten una mayor comprensión de cómo un edificio debe funcionar bajo ciertos criterios y proporcionan un medio para poder comparar las diferentes alternativas de diseño de la construcción identificando así aquella con la cual se ahorra más energía y se obtiene una mayor ganancia. Todas las herramientas de simulación de energía tienen limitaciones, por lo que es necesario entender los principios básicos de la simulación energética en edificios.

Simular el uso de energía de un edificio es una tarea difícil, que requiere no sólo un modelo de la geometría del edificio, sus componentes, tales como aislamientos, ventanas, cimientos, paredes interiores y exteriores, sistemas de climatización, etc., sino también datos ambientales detallados y precisos. La información ambiental incluye las condiciones climáticas dentro de la proximidad del edificio, humedad, velocidad del viento y la temperatura exterior en distintos periodos relevantes. Además, también se requieren datos sobre la carga eléctrica del interior del edificio (dispositivos de iluminación, equipos electrónicos, y las demandas de electricidad de los ocupantes), cargas de calefacción y refrigeración, entre otros.

Parámetros tales como, geometría del edificio, diferenciando claramente espacios arquitectónicos de zonas termales, sistemas de climatización, teniendo en cuenta los horarios de funcionamiento con horas pico, condiciones ambientales dadas por la latitud, longitud y altitud del lugar, cargas internas, debido a dispositivos electrónicos y de iluminación, entre otros dependiendo de la precisión exigida en los resultados, proporcionan datos de entrada básicos para la simulación energética, igualmente resulta necesaria la inclusión de parámetros de entrada adicionales que son más relevantes para las fases específicas del ciclo de vida del edificio, que dependen directamente del programa computacional o motor de simulación que se utilice para la simulación, éste influirá en los resultados finales de la simulación.

Como los diferentes programas de simulación pueden tener diferente arquitectura de software, es decir, algoritmos diferentes para modelar la construcción y sus sistemas, requieren diferentes entradas por parte del usuario, incluso para describir la misma envolvente o componentes del sistema de climatización, por lo que resulta una tarea muy complicada desarrollar un modelo energético idéntico en dos programas de simulación. Para lograr cierta aproximación, los programas de simulación, se deberán ejecutar sobre una base común, es decir estos deberán contar con:

- Los mismos sistemas de energía y sus estrategias de control.
- El mismo período ejecución de la simulación
- Las mismas (más similar posible) configuraciones de simulación, algoritmo de cálculo, etc.

Los edificios son objetos físicos complejos. Ellos interactúan con su entorno inmediato mientras tratan de proporcionar un cómodo entorno de vida y de trabajo de los ocupantes. La forma en que un edificio se comporta y funciona se ve afectada por las decisiones tomadas en la selección de materiales y elementos de construcción, así como también en el diseño de su envolvente (paredes, ventanas, techos) y los diferentes sistemas (iluminación, climatización, etc.). Los edificios proporcionan las condiciones ambientales interiores adecuadas tanto térmicas, visuales como acústicas por medio del

consumo de la energía.

Actualmente se reconoce que los programas computacionales de simulación son herramientas analíticas eficaces para la investigación acerca de la eficiencia energética en la construcción y para la evaluación del diseño arquitectónico del mismo.

Para tener una idea del desarrollo de herramientas de simulación durante las últimas décadas, actualmente la página web del Departamento de Energía de EE.UU. tiene registradas más de 240 herramientas, que van desde programas de investigación hasta programas para productos comerciales. A continuación se desarrollaran los programas utilizados dentro del marco de éste informe.

4.2 Energy Plus

4.2.1 Historia del software

El Departamento de Energía de EE.UU. comenzó a financiar en 1996 el desarrollo de un nuevo programa de simulación energética para edificios, como respuesta a la necesidad de simular el consumo de energía de los edificios teniendo en cuenta el diseño, la economía, el medio ambiente, la comodidad y la seguridad de los ocupantes, de una manera más precisa, lo llamó EnergyPlus, el programa está basado en otros dos programas, el BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics: Análisis de cargas en la construcción y en sistemas termodinámicos) y el DOE-2 (Department of Energy – EE.UU.: Programa del departamento de energía de EE.UU.), desarrollados a finales de la década de 1970 y comienzos de la década de 1980 como herramientas de simulación energética, pero además EnergyPlus contiene una serie de características muy innovadoras, que incluyen medidas de paso del tiempo sub horarias, sistemas de climatización modulares configurables por el usuario que se integran con el sistema de calefacción, también cuenta con entradas y salidas de estructuras de datos que pueden facilitar módulos de terceros (librerías).



Figura 4.1: Logotipo de Energy Plus

Mediante el uso de una técnica de solución integrada en EnergyPlus, la deficiencia más grave de BLAST y DOE-2 fue resuelta: predicción inexacta de la temperatura debido a una falta de retroalimentación entre el módulo de sistemas de climatización (HVAC) y el cálculo de cargas. La predicción exacta de la temperatura del espacio es crucial para el diseño del sistema de climatización y su tamaño, ya que el confort de los ocupantes y su salud dependen de la temperatura del espacio en el que habitan.

Fue lanzado al público en abril de 2001. Sus usuarios pueden ser distintos profesionales como ingenieros, arquitectos, entre otros, que desean optimizar el tamaño de los equipos de climatización, desarrollar estudios para adaptar los costos al ciclo de vida de los equipos, optimizar el rendimiento de la energía, entre otros objetivos. Nació de las primeras preocupaciones acerca de la crisis energética y del reconocimiento de que el consumo energético de los edificios representa un importante componente dentro de las estadísticas de uso de energía en Estados Unidos.

Como sus programas “padres”, el Energy Plus es un programa de simulación de cargas termales y análisis energético. En base a la descripción del usuario de un edificio desde la perspectiva de la constitución física del mismo, en cuanto a materiales, aberturas, sistemas mecánicos asociados, Energy Plus calcula las cargas de calefacción y de refrigeración necesarias para mantener los puntos de ajuste de control térmico (setpoints), las condiciones de todo un sistema de acondicionamiento o climatización (HVAC system) , y el consumo de energía de los equipos de la planta principal, así como muchos otros detalles que son necesarios para verificar que la simulación está funcionando como el edificio actual lo haría.

Algunas de las características de la primera versión de EnergyPlus son las siguientes:

- Solución integrada, simultánea, donde la respuesta de la construcción y de los sistemas primarios y secundarios están estrechamente acoplados (la iteración se lleva a cabo cuando sea necesario)
- Pasos de tiempo definibles por el usuario para la interacción entre las zonas térmicas y el medio ambiente, pasos de tiempo variables para las interacciones entre las zonas térmicas y los sistemas de acondicionamiento (pueden variarse automáticamente para asegurar la estabilidad de la solución)
- Texto ASCII basado en datos del tiempo, entrada y salida de archivos que incluyen las condiciones ambientales por hora o por periodos más pequeños, informes estándar y definidos por el usuario.
- Solución basada en el balance de calor para la definición de las cargas térmicas que permite el cálculo de los efectos simultáneos del calor radiante y convectivo tanto en la superficie interior como en la exterior durante cada paso de tiempo.
- Conducción de calor a través de elementos que conforman la construcción, tales como paredes, techos, pisos, etc. utilizando funciones de transferencia de la conducción.
- Mejora de los modelos de transferencia de calor a través de la representación del mismo por medio de modelos teóricos de diferencias finitas en tres dimensiones y técnicas de análisis simplificados.
- Modelo combinado de transferencia de calor y de masa que da cuenta de la adsorción / desorción de la humedad, ya sea como una integración en las funciones de transferencia de calor por conducción o como un modelo de profundidad de penetración eficaz de la humedad (EMPD).
- Modelos de confort térmico basado en la actividad, temperatura de bulbo seco, humedad, etc.
- Modelo de cielo anisotrópico para un mejor cálculo de la radiación solar difusa sobre superficies inclinadas.
- Cálculos de aberturas avanzados incluyendo persianas controlables, acristalamientos electrocrómicos (variación de la transparencia en función de la

corriente eléctrica que se aplique), saldos de calor que permiten la asignación adecuada de la energía solar absorbida por los cristales de las ventanas, y una biblioteca para numerosas ventanas disponibles comercialmente.

- Controles de la luz del día incluyendo los cálculos de iluminancia interior, simulación de reflejos, controles de luminarias, y el efecto de la reducción de la iluminación artificial en la calefacción y la refrigeración.
- Ciclos de sistemas HVAC configurables (convencionales y radiante) que permiten a los usuarios modelar sistemas típicos y sistemas ligeramente modificados sin volver a compilar el código fuente del programa.
- Cálculos que predicen la contaminación atmosférica de CO₂, SO_x, NO_x, CO, partículas y producción de hidrocarburos.

Ningún programa es capaz de manejar todas las situaciones de simulación. Sin embargo, la intención de Energy Plus es manejar la mayor cantidad de opciones del diseño de construcción y de los sistemas de climatización posibles, ya sea directamente o indirectamente a través de enlaces a otros programas con el fin de calcular las cargas térmicas y/o el consumo de energía para un día de diseño o un período de tiempo prolongado (incluyendo un año, o más de un año). Mientras que la primera versión del programa contiene principalmente las características que están directamente vinculados a los aspectos térmicos de los edificios, las versiones futuras del programa tratan y tratarán de abordar otras cuestiones que son importantes para el medio ambiente construido: sistemas de agua, sistemas eléctricos, entre otros

Energy Plus no es una interfaz gráfica de usuario. Está destinado a ser el motor de simulación alrededor de la cual una interfaz de terceros pueda envolverlo. La disponibilidad de Energy Plus libera recursos antes dedicados a la producción de algoritmos por parte de los usuarios y permite redirigir el desarrollo de funciones de interfaz con el fin de mantener el ritmo de las demandas y de las expectativas de los profesionales del diseño de la construcción.

Energy Plus no comprueba las entradas, solo comprueba la aceptación o el rango de varios parámetros (espera un número limitado de controles muy básicos), ni trata de interpretar los resultados, funciona bajo el estándar "basura entra, basura sale". El usuario será siempre una parte vital del proceso de diseño y de la simulación.

4.2.2 Introducción al software Energy Plus

Energy Plus es programa de simulación diseñado para modelar construcciones con todos sus equipamientos asociados a la calefacción, ventilación, y acondicionamiento de aire.

El programa es el motor de la simulación, fue diseñado para ser un elemento dentro de un sistema de programas que incluyan una interfaz de usuario gráfica para describir el edificio. Como todos los programas de simulación, Energy Plus consiste en algo más que un archivo ejecutable, necesita varios archivos de entrada que describen el edificio a ser modelado y el medio ambiente que lo rodea, de ésta forma genera varios archivos de salida, que deben ser descritos o tratados posteriormente con el fin de dar sentido a los resultados de la simulación.

4.2.3 Simulación del edificio

La metodología es la siguiente:

1. Plan: Energy Plus requiere información en determinados formatos. La siguiente lista de verificación debe ser completada antes de empezar a generar el archivo de entrada, la información necesaria se puede resumir de la siguiente manera.

- Clima de la ciudad donde está ubicado el edificio.
- geometría y superficies de las construcciones incluyendo muros exteriores e interiores, losas, techos, puertas, ventanas, etc.
- Uso de la construcción para especificar la iluminación y otros equipamientos eléctricos, a gas, etc., el número de personas dentro de cada área según la actividad que se realice.
- Tipo de control térmico de la construcción, para especificar la estrategia de control de la temperatura para cada una de las áreas.
- Sistemas de climatización (HVAC) para especificar horarios de funcionamiento de los mismos.

2. Zonificación: La superficie de la construcción es un elemento fundamental dentro del modelo, en Energy Plus hay dos tipos de superficies:

Superficies de transferencia de calor: superficies que separan espacios con una diferencia significativa de temperatura, como ser muros exteriores, piso o techo.

Superficies de almacenamiento de calor: superficies que separan espacios sin diferencia de temperatura, o con una diferencia no significativa.

En Energy Plus una zona termal es un concepto térmico, no geométrico, se puede definir como un volumen de aire a una temperatura uniforme, teniendo en cuenta la transferencia de calor y el almacenamiento de calor por parte de las superficies que lo delimitan o que se encuentran dentro de él. El programa calcula la energía que es requerida para mantener en cada zona la temperatura adecuada.

El número mínimo de zonas en un modelo de simulación por lo general será igual al número de los sistemas que sirven a la construcción. La transferencia de calor y las superficies de almacenamiento de calor definidas dentro de cada zona incluirán todas las superficies que limitan o se encuentran dentro del espacio acondicionado por el sistema.

3. Construcción del modelo: En base a planos y a lo dicho en Zonificación, las zonas de la construcción quedan definidas. Se recomienda que el usuario, esquematice la construcción con todas las zonas que lo conforman para que en el modelo se puede determinar, las superficies de transferencia y almacenamiento de calor, especificar superficies y sub superficies como ventanas y puertas, materiales utilizados, etc.

4. Compilación de datos sobre ganancia interna de calor: Personas, iluminación, equipamiento, infiltración de aire exterior y ventilación, constituyen la ganancia interna de calor para una zona termal. En EnergyPlus, estas ganancias son representadas por medio de un pico con un horario que especifica la fracción del pico en cada hora.

4.2.4 Interfaces gráficas.

La simulación en EnergyPlus, como ya se dijo, se basa principalmente en la entrada de archivos de texto, lo que aumenta el esfuerzo para definir todos los datos de entrada necesarios en comparación con los motores con interfaces gráficas de usuario. Algunas interfaces de usuario están en desarrollo actualmente y los más avanzados son Design Builder y Open Studio.

DesignBuilder es una interfaz gráfica comercial desarrollada para EnergyPlus que a su vez incluye una interfaz simplificada CAD, plantillas, asistentes y configuraciones de sistemas de aire compactas de EnergyPlus.

El flujo de trabajo del software comienza con la selección de la ubicación del edificio y el clima a través de un archivo con datos del tiempo, luego continúa la creación de la geometría específica del modelo del edificio con la interfaz CAD integrada. Esta geometría del edificio representa la definición de la geometría necesaria para la simulación del comportamiento térmico del edificio.

Design Builder ofrece una variedad de plantillas específicas de cada país o región para la selección de parámetros (por ejemplo, materiales y construcciones típicas). Existen también listas de otros parámetros definibles que incluyen cargas internas (con los patrones/actividades de ocupación), tipos de construcción, aberturas (ventanas y puertas), iluminación y sistemas de climatización. Una vez que la definición de los parámetros de entrada se completa, se puede realizar simulaciones diarias o anuales.

Open Studio es un plug-in, es decir un complemento, para el software desarrollado por Google, Google Sketch Up, el plug in fue creado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable del Departamento de Energía de EE.UU., para permitir a los usuarios de Energy Plus crear y editar la geometría del edificio para los archivos de entrada del mismo. Este plug-in también permite a los usuarios poner en marcha simulaciones de Energyplus y ver los resultados sin salir del modelo de Google SketchUp.

Open Studio Plug-in permite al usuario:

- Crear y editar zonas y superficies de Energyplus
- Utilizar EnergyPlus y ver los resultados sin salir de Google Sketch Up
- Hacer coincidir superficies interzonales con las condiciones de contorno del modelo.
- Buscar superficies y superficies secundarias (aberturas) por nombre de objeto
- Añadir ganancias internas y aire exterior para cálculos de carga
- Añadir el sistema de climatización HVAC para los cálculos de carga
- Definir y cambiar las construcciones por defecto
- Agregar controles de iluminación natural y mapa de iluminancia

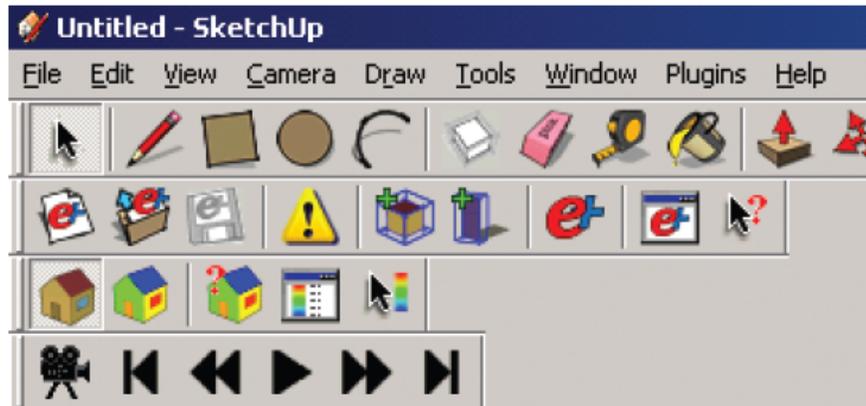


Figura 4.2: Barra de herramientas típica de Open Studio Plug in

El NREL también brinda la posibilidad de instalar Open Studio Suite, es decir, el programa propiamente dicho, y el Open Studio Plug in y a través de Sketch Up construir modelos con cualquiera de las dos utilidades, según la necesidad o la conveniencia.

Para éste informe se utilizó el Open Studio Suite, ya que además de ser un software libre, se pueden manipular más fácilmente las variables que hacen al modelo y se pueden observar modelos esquemáticos de los ciclos de aire y de agua.

Energy Plus y Open Studio adopta el Sistema Internacional de unidades tanto para las entradas como para las salidas.

4.3. eQuest

4.3.1. Descripción

eQuest, son las siglas que responden a The Quick Energy Simulation Tool (La herramienta más rápida de simulación energética), se trata de un programa diseñado para proveer un análisis completo sobre el rendimiento energético de una construcción a distintos profesionales, como por ejemplo, ingenieros, arquitectos, diseñadores, personal de servicios públicos, etc. El análisis completo del edificio, reconoce que éste es un sistema compuesto de otros sistemas (subsistemas) y que el diseño de respuesta energética es un proceso de integración de todos los sistemas que interactúan entre sí mismos por ejemplo, envolvente, aberturas, iluminación, sistema de climatización, sistema de agua sanitaria, entre otros. Por lo tanto, cualquier análisis de las consecuencias del rendimiento de algunos de éstos sistemas debe considerar la interacción entre ellos, de manera completa. eQuest ha sido testeado y validado según el Standard 140 de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning: Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción).



Figura 4.3: Logotipo de eQuest

4.3.2 Introducción al software eQuest.

Existen dos partes principales dentro de eQuest:

1. Asistentes: Los asistentes de eQuest intentan simplificar y acelerar el tiempo de preparación de los modelos constructivos para el análisis de la simulación. Combinando entradas limitadas por parte del usuario con valores predeterminados dinámicos inteligentes, los asistentes se pueden utilizar ya sea para realizar análisis esquemáticos simples, para diseños preliminares, o para acelerar la preparación de modelos más detallados en los cuales se debe introducir mayor información. La versión actual de eQuest (eQuest 3.64) posee tres asistentes, Schematic Design Wizard (asistente SD, es el asistente de diseño esquemático), Design Development Wizard (asistente DD, es el asistente de desarrollo del diseño) y Energy Efficiency Measures Wizard (asistente EEM, es el asistente de medidas de eficiencia energética). Los asistentes SD y DD, se utilizan para crear los modelos constructivos y el asistente EEM se utiliza para evaluar las alternativas de diseño de los mismos.

El asistente SD solo permite crear modelos constructivos de una sola capa, una capa se refiere a una área del edificio que comparte la misma, o similar, forma de planta, sistema de climatización, altura de piso a techo, tipo de envolvente constructiva, servicios de climatización, etc., la cantidad de variables compartidas las decide el usuario.

El asistente DD, puede ser utilizado para crear modelos que requieren múltiples capas.

Por otro lado el asistente SD puede crear hasta dos plantillas de sistema de climatización, el asistente DD puede crear varias plantillas de sistema de climatización, y provee más flexibilidad para asignarlas a distintas áreas de la construcción.

Por éstas dos razones el asistente DD es comúnmente más utilizado, el usuario puede convertir sus proyectos con asistente SD a proyectos con asistente DD, pero no es posible a la inversa.

2. Interfaz detallada: La interfaz detallada de eQuest, es una interface basada en Windows, que funciona con el motor de simulación DOE 2.2, la herramienta de simulación más reconocida y confiable disponible actualmente. Comparando los asistentes con la interface, esta última requiere una mayor cantidad de información detallada. Si un usuario utiliza los asistentes para preparar rápidamente un modelo aproximado del edificio, puede entonces añadir refinamientos, según sea necesario o deseado, en la interfaz detallada.

4.3.3. Análisis paramétrico

El uso principal de eQuest es evaluar el impacto en el rendimiento energético como resultado de las alternativas de diseño constructivo, ésto se hace simulando al menos dos versiones de un mismo modelo constructivo, si ésto se hace a través de los asistentes de pantalla, eQuest lo denomina análisis EEM (asistente EEM), si se hace a través de la interfaz detallada lo denomina análisis paramétrico.

Dado que el Análisis EEM utiliza el asistente EEM de medidas de eficiencia energética, éste resulta más rápido y más fácil que el análisis paramétrico, pero ofrece menos control detallado de las alternativas de diseño, al mismo tiempo el análisis paramétrico requiere mayor información detallada de entrada que en muchas ocasiones no se posee.

Cabe aclarar que en ningún caso es posible comparar sobre un mismo modelo dos alternativas con sistemas de climatización diferentes.

4.3.4 Reporte de resultados.

Los resultados de eQuest se encuentran disponibles con una amplia gama de detalles. Los reportes de resultados se proveen en formato gráfico y tabular, alguno de éstos reportes están asociados a una única prueba (corrida o ejecución de programa), otros comparan múltiples pruebas entre sí mismas. Los reportes horarios proveen listas de simulación hora por hora con datos de variables que pueden ser fácilmente exportadas a hojas de cálculo.

4.3.5. Diseño energético integrado

Los diseñadores actuales deben considerar sus responsabilidades de diseño con una perspectiva más amplia e incluso de una manera más global. La calidad de las decisiones de diseño constructivo sólo pueden ser tan buenas como la información que entra en el proceso de diseño, es decir, los niveles de rendimiento de los proyectos de diseño de construcción en última instancia, dan cuenta de cuán bien informado está el usuario que toma las decisiones.

4.3.6 Simulación del edificio

DOE-2 es un programa de análisis energético en edificios desarrollado por el Departamento de Energía de EE.UU, siendo el más reconocido y respetado en la actualidad. DOE-2 fue lanzado por primera vez en finales de 1970, se utilizó como punto de partida de herramientas de simulación y métodos desarrollados y financiados por la ASHRAE, la NASA, el Servicio Postal de los EE.UU., y las empresas de servicios públicos de electricidad y gas del mismo país. Durante la primera mitad de la década de 1980, el desarrollo de eQuest contó con el apoyo de DOE, pero la preocupación estadounidense sobre el uso de la energía generó la necesidad del apoyo de la industria, que se convirtió en su base principal a lo largo de gran parte de la década de 1990. A través de la historia, DOE-2 ha sido ampliamente revisado y validado en el dominio público. El motor de simulación en eQuest se deriva de la última versión oficial del DOE-2, sin embargo, el motor de eQuest extiende y amplía las capacidades de DOE-2 en varios aspectos importantes, tales como: operación interactiva, valores predeterminados dinámicos inteligentes y mejoras en numerosas deficiencias de comprensión del DOE-2 que habían limitado su uso. Esto es posible porque el motor de DOE-2 se combina con asistentes de ayuda para la creación de modelos, y para medir la eficiencia energética, con entradas por defecto según estándares de la industria, y con un módulo de visualización gráfica de los resultados. Equest es una guía para la creación de un modelo detallado del edificio, permitiendo realizar de forma automática simulaciones paramétricas de las alternativas de diseño proporcionando gráficos intuitivos que comparan el rendimiento de las alternativas de diseño planteadas.

Es importante aclarar que DOE-2 ha estado disponible para que los diseñadores puedan poner a prueba la eficiencia energética de sus diseños, pero éste ha sido muy difícil y costoso de usar para la mayoría de los proyectos. Equest es una sofisticada herramienta para el análisis energético del edificio, pero fácil de usar, al mismo tiempo es lo suficientemente potente como para ser utilizada por cada miembro del equipo de diseño (por ejemplo, arquitectónica, iluminación, mecánica, etc.) y lo suficientemente simple para permitir la colaboración entre todos los miembros del equipo en todas las fases de diseño.

Actualmente eQuest forma parte del programa Recursos de Diseño Energético (Energy Design Resources) que está financiado por los entes de servicios públicos de

California y administrado por las compañías, Pacific Gas and Electric Company, San Diego Gas & Electric y Southern California Edison, bajo los auspicios de la Comisión de Servicios Públicos del estado de California.

4.3.7. Descripción del proceso de simulación

Equest calcula el consumo de energía del edificio hora a hora durante todo un año (8760 horas) a partir de datos meteorológicos horarios para la ubicación del edificio en cuestión. La entrada al programa consiste en una descripción detallada de la construcción que se está analizando, incluyendo la programación horaria de los ocupantes, la iluminación, los equipos y la configuración del termostato. El programa proporciona una simulación precisa de tales características de la construcción como las sombras, las aberturas, la construcción de la envolvente, y la respuesta dinámica de diferentes tipos de sistemas de calefacción y de aire acondicionado y los controles de los mismos, también contiene un modelo de iluminación natural dinámico para evaluar el efecto de la iluminación natural en las demandas térmicas y de iluminación.

El proceso de simulación se inicia mediante el desarrollo de un modelo de la construcción sobre la base a los planos y a las especificaciones de la misma. Los análisis de alternativas se realizan al hacer cambios en el modelo que se corresponde con las medidas de eficiencia que se podrían implementar en el edificio real. Estos análisis alternativos muestran el consumo anual y el ahorro de costos para la medida de eficiencia que luego se podría utilizar para determinar la recuperación de la inversión, coste del ciclo de vida, y también para determinar la mejor combinación de alternativas.

4.3.8. Bloques de simulación

La lista siguiente resume los componentes esenciales, pasos, o bloques de construcción, en una descripción de cómo realizar el proceso de modelado para la simulación en eQuest.

- Datos del sitio y datos meteorológicos.

Características importantes del sitio de la construcción incluyen la latitud, la longitud y la altitud, además de información acerca de las estructuras existentes o del paisaje capaz de proyectar sombras importantes en el edificio propuesto (o existente). eQuest posee datos meteorológicos de largo plazo (aproximadamente 30 años) para dieciséis zonas climáticas estándar en California. Para los usuarios fuera de California, más de 650 archivos con datos meteorológicos están disponibles a través de descarga automática en la página web del DOE-2.

- Capas, estructuras, materiales y sombras.

Para eQuest son importantes las paredes, el techo y el piso del edificio propuesto sólo en la medida en que éstos permitan la transferencia o el almacenamiento de calor. Se debe tener alguna idea de la geometría (dimensiones) y los materiales de construcción utilizados en cada una de estas superficies. Sólo los datos más significativos son necesarios incluir, teniendo en cuenta propiedades del vidrio de las ventanas y puertas y las dimensiones de las cortinas o aleros de la ventana, si es que tienen.

- Operaciones de construcción y programación

Para una clara comprensión de la programación de la construcción existente o en proyecto, es importante incluir información sobre cuando comienza y termina la actividad

dentro del edificio (horarios, días de la semana, variaciones estacionales, vacaciones, etc.), puntos de ajuste del termostato interior, sistemas de climatización y horarios de las operaciones internas del equipo. Equest posee calendarios por defecto basados en el tipo de construcción.

- Cargas internas

La ganancia de calor por medio de las cargas internas (por ejemplo, las personas, las luces, y los equipos) puede constituir una parte significativa de las demandas de confort en grandes edificios, tanto de sus demandas de potencia directa como sus demandas de refrigeración y de calefacción. De hecho, las cargas internas con frecuencia pueden hacer que grandes edificios sean relativamente insensibles a la intemperie. Más importante aún, el rendimiento de casi todas las alternativas de diseño de eficiencia energética se verá afectado, ya sea directamente o indirectamente por la cantidad de carga interna dentro del edificio. Aunque eQuest contiene valores por defecto razonables según tipo de edificio, el usuario experimentado se encarga de estimar éstos valores con el mayor cuidado posible. La fuente para estos datos es el Manual de ASHRAE (publicado cada cuatro años), disponible a través de ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)

- Equipamiento de climatización y desempeño

Ninguno de los componentes del modelo tendrá tanta influencia en el uso total de energía y en el rendimiento de la mayoría de las alternativas como los equipos de Climatización (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado). De ello se deduce que la buena información con respecto a la eficiencia de los equipos de climatización será muy importante para la exactitud de la simulación energética. Equest asume por defecto la eficiencia de equipos de climatización de acuerdo con el Título 24 del estándar de energía de California. La mayoría de los fabricantes de equipos de climatización publican los datos de funcionamiento de sus equipos en sus sitios web.

4.4. Energy Plus Vs. eQuest: Comparaciones del tiempo de ejecución entre EnergyPlus y DOE-2

En comparación con el DOE-2 (eQuest), EnergyPlus funciona mucho más lento. La razón principal es que EnergyPlus realiza los cálculos para el balance de calor integrando las cargas, los sistemas y las plantas de climatización de forma integrada, con un paso de tiempo para cargas normales de aproximadamente 15 minutos, además lleva a cabo cálculos iterativos en un paso de tiempo tan pequeño como sea necesario (hasta 1 minuto) para los sistemas de acondicionamiento (HVAC) con el fin de lograr soluciones convergentes con un alto grado de precisión, mientras que DOE-2 hace cálculos secuenciales desde las cargas hacia los sistemas de climatización con un paso de tiempo de una o varias horas.

Con la potencia de cálculo computacional disponible desde la última década, se piensa que no es tan importante para el desarrollo de programas de simulación energética que se ejecuten tan rápidamente como DOE-2, sino más bien que permitan hacer cálculos de rendimiento térmico sub-hora y más precisos en un tiempo real razonable, como es el caso de EnergyPlus. Pero el tiempo de ejecución de la simulación sigue siendo un inconveniente importante.

De acuerdo con un estudio realizado por Tianzhen Kong (Hong, 2008), con un paso de tiempo de 15 minutos, EnergyPlus funciona mucho más lento que el DOE-2.1,

para el caso de un edificio de oficinas el factor de proporción es de 105 y para un edificio de hospital es de 196.

Los programas ofrecen las siguientes salidas:

Datos de entrada: El informe suele repetir los datos de entrada para facilitar su revisión. Esto incluye datos procedentes de bibliotecas de datos del programa. Por ejemplo, la salida puede indicar la temperatura exterior y la humedad que se supone que se tiene en todas las zonas para cada hora.

Cargas de la construcción: Las cargas se dividen en calefacción, refrigeración, iluminación, procesos, etc. Algunos programas pueden informar sobre los componentes de estas cargas. Por ejemplo, la carga de refrigeración se puede dividir en la ganancia de calor por radiación solar, calor por conducción, ganancia de calor interno según actividad, y calor latente.

Calibradoras de datos: Normalmente las capacidades de los equipos se seleccionan usando los cálculos de carga pico. Por ejemplo, el programa puede reportar el flujo máximo de aire de las unidades de tratamiento de aire, el flujo máximo de vapor de las calderas, el pico de energía de entrada a enfriadores chillers individuales, etc.

En eQuest hay dos maneras de utilizar las salidas. Una es por medio del uso de los informes generados por el programa o utilizando el archivo. SIM (es un archivo de texto normal se encuentra en el Explorador de Windows dentro del directorio del proyecto) que nos permite saltar a cada informe correspondiente.

En EnergyPlus, podemos elegir el tipo de informes que queremos ver. Basado en el número de informes solicitados y el detalle de los mismos, el tiempo de ejecución varía. Después de la simulación EnergyPlus permite salidas en diferentes formatos.

Como se observa en este estudio eQuest es fácil de usar y rápido para producir resultados que ayuden en el proceso de toma de decisiones durante la fase de diseño. Por otro lado EnergyPlus permite el modelado de sistemas complejos, pero consume más tiempo. La elección del programa de simulación podría cambiar en función de la utilidad y aplicabilidad del programa a nuestras necesidades en diferentes fases del ciclo de vida de un edificio. La selección de uno o de otro dependerá de las necesidades en cada caso en particular.

Como ya se dijo, debido a la diferencia de algoritmos para llevar a cabo la modelización de la construcción y la simulación de sus sistemas, los resultados obtenidos, serán y deben ser diferentes, comparar mismas variables de salida de distintos programas no sería adecuado.

