

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.5.2
5 de diciembre de 1960

ESPAÑOL

ORIGINAL: INGLES

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos de México

México, 31 de julio a 12 de agosto 1961

E ECONOMIA DE LOS PROCESOS DE COMBUSTION

For

F.D. Wilson

NOTA: Este texto será revisado editorialmente.

¿Qué influencias han dado por resultado la economía actual de los procesos de combustión, y en qué forma estos factores afectan a nuestras plantas de servicio público? Con el objeto de actualizar nuestro conocimiento de la economía de estas plantas, sería conveniente pasar revista a la historia de la actividad de las empresas de servicio público. Por este medio podremos averiguar las influencias que estos adelantos tuvieron en la economía.

La primera planta de servicio público en las Américas, como muchos probablemente sabrán, fue la central Pearl Street de Nueva York, construida por Thomas A. Edison en 1882.

Las unidades generadoras de vapor de esta planta eran alimentadas a mano, con carbón bituminoso depositado sobre parrillas estacionarias y el único método de control de la combustión era el regulador de tiro de la caldera. Esto se traducía en una combustión deficiente. No se contaba con instrumentos para medir la eficiencia de la combustión, ni se hacían esfuerzos para fiscalizar la limpieza de las superficies internas mediante tratamientos adecuados del agua de alimentación. La limpieza de las superficies exteriores de calentamiento era escasa o inexistente. El resultado era un consumo de cerca de 10 libras de carbón por kWh.

Durante los siguientes veinte años se registró cierto progreso en la eficiencia de la combustión, merced a la invención del alimentador automático. Este alimentador era del tipo de alimentación superior y dependía de un ventilador separado para el suministro de un tiraje forzado, método que aumentaba la capacidad de combustión de la unidad generadora de vapor, con escaso aumento en la eficiencia de la combustión. Durante este período fue inventado y puesto en servicio el rascatubos de turbina, un raspador mecánico que servía para eliminar las incrustaciones acumuladas sobre las superficies internas de calentamiento de la caldera. Esto aumentó la eficiencia de las superficies de absorción de calor, y, asociado al alimentador automático, dio por resultado un consumo de carbón de alrededor de 6.7 libras por kWh.

De 1902 a 1922, muchos adelantos contribuyeron a la economía del ciclo de vapor, a saber, el empleo del recalentamiento, el tratamiento

/del agua

del agua de alimentación de la caldera mediante el uso de compuestos químicos, las lanzas de vapor para la limpieza de las superficies externas de calentamiento y el alimentador automático inferior.

Con el alimentador automático inferior, el carbón crudo era introducido por debajo de la capa de combustible encendido. Los gases volátiles procedentes de este carbón, al mezclarse con el aire debajo de la capa de combustible, se inflamaban al elevarse por entre los carbones encendidos. Se dosificaba el aire de combustión en cierto grado, empleando un medidor de CO₂. Además, para graduar el suministro de combustible y de aire, se usaba a veces una forma rudimentaria de control automático de regulación, gobernado por la elevación y descenso de la presión de la caldera. Estos adelantos combinados dieron por resultado un consumo medio de combustible de cerca de 2 1/2 libras de carbón por kWh.

El decenio comprendido entre 1922 y 1932 aportó numerosos dispositivos nuevos para aumentar la eficiencia general. El petróleo, que había sido empleado con anterioridad en quemadores poco perfeccionados fue utilizado por primera vez en un quemador circular. El petróleo era volatilizado a presión, proyectándolo dentro de una corriente de aire turbulento, de modo que se mezclaban íntimamente el combustible y el aire, lo que se traducía en una elevada eficiencia de combustión.

Basados en su éxito con los quemadores a petróleo, los ingenieros comenzaron a hacer experimentos con la pulverización del carbón, a fin de obtener un proceso de combustión equivalente al empleado con el petróleo. El carbón era primero triturado y, luego, colocado en un pulverizador consistente en un tambor lleno de bolitas de acero o trocitos de hierro viejo. Al girar el cilindro horizontalmente, la interacción del carbón y del metal pulverizaba al primero. Una corriente de aire barría el molino y trasladaba el carboncillo al quemador, en donde una corriente secundaria de aire era introducida en torno al carbón y a la corriente primaria de aire. La mezcla resultante ardía con una eficiencia de combustión superior a la que se había alcanzado mediante otros métodos usados anteriormente.

/Al mismo

Al mismo tiempo, se registraban aumentos en la presión del vapor y en la temperatura de recalentamiento, agregándose la caldera trampas de calor, tales como los economizadores y calentadores de aire. Hacia el término de este período, la capacidad de las unidades se había ampliado desde las unidades primitivas de 120 kW a unidades de 100 000 kW. Con la elevación de la presión y temperatura de la unidad, el tratamiento del agua de alimentación adquirió mayor importancia y se introdujeron mejores sistemas de purificación del agua de alimentación, dando por resultado superficies internas más limpias y la posibilidad de alcanzar tasas más elevadas de absorción de calor. Se introdujo en el lado externo de la superficie de calentamiento el método de sopladores de hollín de vapor accionados mecánicamente, lo cual mejoró en gran medida las cualidades de absorción de calor de la caldera. Todas estas mejoras se tradujeron en una rebaja del consumo por kWh a un promedio de 1.5 libras.

El período 1932-1942 fue de consolidación y perfeccionamiento de los métodos ya en uso. La aplicación de la soldadura por fusión en los cilindros de las calderas posibilitó la obtención de presiones de vapor mucho más elevadas. El mejoramiento de los materiales de aleación permitió que se consiguieran temperaturas de recalentamiento de vapor más elevadas. El tratamiento del agua de alimentación había mejorado a tal punto, que era posible incorporar paredes enfriadas por agua en todos los tipos de hogar, sin el riesgo innecesario de un elevado costo de conservación, eliminando con ello la conservación de las paredes refractarias. Se obtuvieron, de esta manera, temperaturas del hogar mucho más elevadas, dando por resultado una mayor eficiencia en la combustión. Fue entonces posible llegar a unidades generadoras de mayor capacidad, de modo que en lugar de una cantidad de calderas para cada turbina, se podría contar con una caldera y una turbina por unidad, hecho que simplificaba grandemente el control y operación.

En este período los medidores de combustión y el equipo automático de control experimentaron un perfeccionamiento de tal envergadura, que una caldera de gran tamaño podía ser controlada mediante instrumentos

y entrar en funciones con una eficiencia igual a la que anteriormente se había alcanzado sólo durante cortos períodos de prueba. Hacia el término del decenio, la eficiencia media aumentó de tal modo que se podía generar 1 kW con un gasto de cerca de 1.33 libras de carbón.

En 1942 se introdujo un nuevo tipo de equipo de combustión, denominado hogar ciclónico. El carbón que ha sido triturado, pero no pulverizado, es quemado en un fogón cilíndrico que mide de 5 a 10 pies de diámetro y está dispuesto en forma horizontal. Se introducen carbón y aire con movimiento ciclónico en un extremo y se hacen girar en torno a la periferia interna del hogar ciclónico. El aire secundario que penetra tangencialmente en la corriente de carbón y aire aumenta el movimiento giratorio de las partículas de carbón. Ardiendo a elevadas temperaturas, la ceniza del carbón se transforma por fusión en una escoria líquida hasta formar una capa sobre las paredes del ciclón. Partículas del carbón que entra son lanzadas hacia las paredes y se adhieren a la escoria, y el aire secundario barre a elevada velocidad el carbón encendido y la escoria. Los gases, casi exentos de escoria, se descargan hacia el fogón adyacente de la caldera; la escoria fundida se escurre hacia la parte inferior del hogar ciclónico, desde donde es expulsada, a través de un orificio de descarga, a un depósito de escoria situado debajo del hogar de la caldera. Este método de quemar carbón no sólo alcanza un alto grado de eficiencia de combustión debido al menor volumen de aire excedente que se necesita, sino que reduce aún más las pérdidas por carbón sin quemar y atrapa las cenizas volantes, de modo que es pequeña la cantidad de ésta que abandona la unidad a través de la chimenea, en forma de ceniza volante. En realidad, las chimeneas de las calderas alimentadas a carbón que utilizan el hogar ciclónico están casi tan exentas de productos susceptibles de contaminar la atmósfera como las de las calderas alimentadas a petróleo. El progreso realizado en la eficiencia de la combustión a causa del empleo del hogar ciclónico y del perfeccionamiento del control automático, han dado por resultado una eficiencia óptima de combustión; y, juntamente con el aumento de la presión, las altas temperaturas de calentamiento y el ciclo de recalentamiento, se ha traducido en un ciclo altamente eficiente que,

/hoy en

hoy en día, equivale a cerca de 0.80 libras de carbón por kWh como término medio en las centrales de servicio público.

El Cuadro 1 resume las eficiencias térmicas medias de este período.

Cuadro 1

EFICIENCIAS TÉRMICAS MEDIAS EN CENTRALES DE SERVICIO PÚBLICO

Año	BTU/KW	CAL/KW	Eficiencia térmica Por ciento
1882	138 000	35 000	2.48
1902	92 500	23 200	3.70
1922	34 500	8 550	9.90
1932	20 700	5 200	16.50
1942	18 400	4 640	18.50
1952	15 300	3 860	22.30
1960	11 200	2 800	30.70

Al considerar el proceso de combustión a lo largo de este período que abarca desde la primera central de servicio público hasta el momento presente, podemos juzgar los hechos que han ejercido influencia sobre el aumento en la economía, merced a tres factores: tiempo, turbulencia y temperatura. Tiempo, o sea el lapso que la partícula de combustible permanece en la zona de combustión antes de quedar bajo la influencia enfriadora de la superficie que absorbe calor. Turbulencia, o sea la cantidad en que el combustible y el aire se mezclan durante el proceso de combustión. Temperatura, o sea el grado calórico de la zona de combustión, gobernada en gran medida por la emisión de BTU por pie cúbico de volumen de hogar y la emisión de BTU por pie cuadrado de superficie absorbente de la pared de agua del hogar.

Si damos una mirada retrospectiva a la caldera alimentada a mano de la central Pearl Street, podemos observar que estos tres factores eran de importancia relativamente escasa. Se disponía de muy poco tiempo, ya que las superficies de calentamiento estaban muy cercanas al

/carbón encendido.

carbón encendido. Existía poca o ninguna turbulencia, ya que el aire entraba a través de la capa de carbón merced a una corriente natural muy baja. La temperatura en la zona de combustión era relativamente baja, debido a la cercanía de las superficies que absorbían calor y al bajo ritmo de combustión.

Las instalaciones de alimentación automática inferior tenían un volumen de hogar superior al de las superficies de calentamiento colocadas a una distancia mayor de la capa ardiente, lo cual aumentaba el tiempo de combustión de la partícula. Se introducía aire a presión bajo la parrilla y, en algunos casos, a través de toberas por encima de la parrilla, de modo que hubiese cierta medida de turbulencia y de mezcla de aire y combustible. Las tasas más elevadas de combustión en el alimentador automático fueron las responsables del aumento de la emisión de BTU y de una mayor temperatura. El alimentador automático alcanzó el punto próximo en la escala ascendente de la eficiencia de combustión.

Con la combustión de carbón pulverizado, se emplearon hogares más grandes y aumentó el factor tiempo. La mezcla del aire con el carbón en el pulverizador y la introducción de aire en el quemador dieron origen a un grado mucho mayor de turbulencia. El mayor tiempo de combustión y la mayor emisión de BTU en el quemador elevaba con este método las temperaturas del hogar hasta un punto en el cual los refractarios no podían continuar manteniéndose, y las paredes de agua hicieron posible el empleo de hogares más pequeños con temperaturas más elevadas. La cantidad necesaria de aire excedente con el carbón pulverizado fue menor que con el alimentador automático, por razones de mejor turbulencia y mezcla del combustible con el aire en el quemador. Resultó así una mayor eficiencia de combustión.

En el hogar ciclónico el carbón es obligado a desplazarse siguiendo una trayectoria helicoidal a través del fogón, aumentando de esta manera el tiempo de retención en la zona de elevada temperatura para estipular una combustión completa. El aire pasa por sobre el carbón encendido a gran velocidad, produciendo el máximo de turbulencia y mezclando el aire de exceso requerido para la combustión, que queda reducido a un mínimo. El hogar ciclónico, aunque se emplea principalmente para
/quemar carbón,

quemar carbón, ha resultado igualmente satisfactorio y adaptable para los combustibles de petróleo y gasolina. Con las tres T - tiempo, turbulencia y temperatura casi al máximo - el hogar ciclónico proporciona la última palabra en cuanto a eficiencia de combustión en nuestro tiempo.

La eficiencia de combustión se determina mediante el análisis del gas de combustión y de la ceniza, con el objeto de establecer si hay carbono sin quemar. En el análisis del gas de combustión, el CO₂ es un indicio de que la combustión ha sido completa y el O₂ lo es de la cantidad de aire de exceso empleado para obtener una combustión completa. El mejoramiento a través del período transcurrido entre el hogar alimentado a mano y el hogar ciclónico se ilustra en el Cuadro 2.

Cuadro 2
 EFICIENCIA RELATIVA DE COMBUSTION

	Carbono sin quemar Por ciento	Aire de exceso Por ciento	CO ₂ Por ciento del vol.
Alimentación a mano	4.0 - 6.0	100 - 150	8 - 10
Alimentadores automáticos	2.5 - 3.0	45 - 100	10 - 13
Carbón pulverizado	0.5 - 1.5	20 - 45	13 - 14
Hogar ciclónico	0.25- 0.5	15 - 20	14 - 14.5

Hoy en día, cuando contemplamos la construcción de nuevas centrales en América, podemos sacar partido de casi 80 años de experiencia en empresas de servicio público. Ahora es posible contar con modernas unidades de calderas dotadas de los procesos de combustión más eficientes.

El planeamiento de la instalación inmedidata del equipo más moderno es posible para una población, que, hasta ahora, no haya experimentado más que con equipo anticuado.

Habrá podido observarse que a lo largo de este estudio de la economía de las centrales de energía, se ha insistido no sólo en los procesos de combustión sino también en la importancia de conservar las superficies

/que absorben

que absorben calor en el estado de máxima limpieza posible, tanto interna como externamente. Todo aquel que pretende instalar unidades generadoras de vapor modernas y de elevada eficiencia, debe esmerarse grandemente en el diseño de un sistema lo más completo y moderno posible de tratamiento de agua de alimentación, como también debe emplear el mejor método de conservación, limpieza de las superficies externas de calentamiento.

Contando con un equipo en proceso de mejoramiento constante merced a un número y calidad creciente de ingenieros y hombres de ciencia, se perfila un brillante futuro para las instalaciones generadoras de electricidad en América.

RESUMEN

El autor pasa revista a la historia y progreso del diseño de unidades generadoras de vapor, exponiendo las diversas etapas del desarrollo económico de las unidades modernas y la forma en que tales etapas influyen en nuestros días en su funcionamiento. Asimismo, la forma en que pueden sacar partido de estas economías las nuevas centrales energéticas.

