

Costo de Generación de Vapor

En el presente artículo se explica cómo determinar el costo de generación de vapor y cuáles son las variables de las que depende, además de entregar valores referenciales para distintos combustibles.

Tal como podrá ser observado, el costo del combustible tiene un alto impacto en el costo del vapor y, por lo tanto, resulta muy relevante al momento de evaluar distintas alternativas de combustibles para una caldera.

1. Producción de Vapor y Consumo de Combustible

La producción de vapor de una caldera es la cantidad de vapor generado por unidad de tiempo, comúnmente este valor viene es informado en toneladas por hora.

El consumo de combustible es directamente proporcional al consumo de vapor y se puede obtener mediante la relación:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{m}_{vapor} \cdot (h_V - h_{AA}) \cdot 10000}{PCS \cdot \eta}$$

Donde:

- \dot{m}_{comb} : Consumo de combustible (kg/h)
- \dot{m}_{vapor} : Producción de vapor (ton/h)
- h_V : Entalpía del vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera (kJ/kg)
- h_{AA} : Entalpía del agua de alimentación (= 105 kJ/kg @ 25°C)
- PCS : Poder calorífico superior del combustible (kJ/kg)
- η : Eficiencia de la caldera respecto al PCS (%)

2. Costos Asociados a la Generación de Vapor

Los costos asociados a la generación de vapor dependen de las siguientes variables:

- Consumo y costo de combustible.
- Consumo y costo de productos químicos.
- Consumo y costo del agua de reposición o *make up*.
- Consumo y costo de energía eléctrica.

ARTÍCULO TÉCNICO

Costo de Generación de Vapor

- Costos asociados a operación y mantención.

En la figura N°1, es posible observar la incidencia de cada uno de estas variables en el costo total asociado a la generación de vapor para una situación típica de funcionamiento de calderas, que utilizan petróleo o gas como combustible.

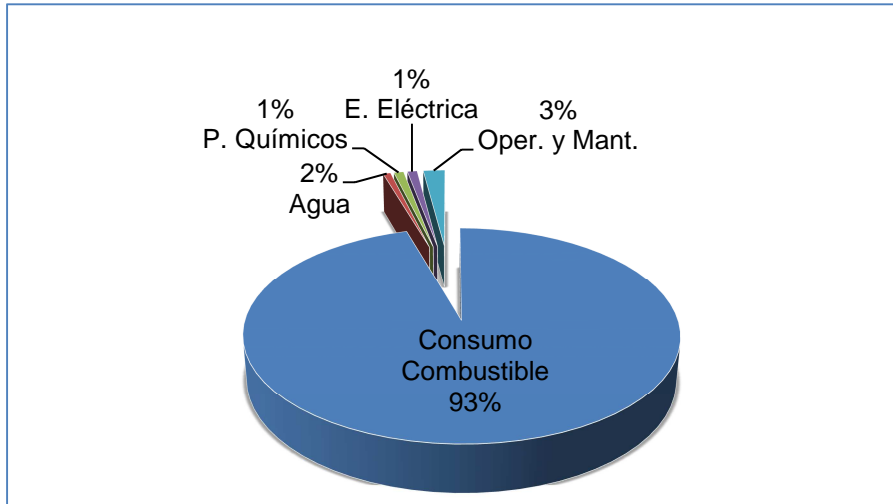


Figura N°1: Variables que influyen en el costo del vapor.

Como se puede observar, el costo asociado al combustible representa sobre el 90 % del costo de generación de vapor, al usar gas o petróleo como combustibles.

En el caso de combustibles sólidos como el carbón o la biomasa, cuyo costo es menor al del petróleo o gas, su influencia es menor, pero siempre sigue siendo más importante que los otros costos involucrados.

3. Costo del Vapor

Según lo expuesto anteriormente el costo del vapor se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$PV = \frac{(h_V - h_{AA})}{PCS \cdot \eta} \cdot PC \cdot 100 + PQ + A + EE + OM$$

Donde:

- PV : Costo del vapor (\$/kg vapor)
- PC : Precio combustible (\$/kg combustible)
- PQ : Costo de consumo de productos químicos (\$/kg vapor)
- A : Costo de consumo de agua (\$/kg vapor)

ARTÍCULO TÉCNICO

Costo de Generación de Vapor

- *EE* : Costo de consumo de energía eléctrica (\$/kg vapor)
- *OM* : Costo de operación y mantención (\$/kg vapor)

Con el objetivo de simplificar el cálculo de cada uno de los parámetros antes mencionados, a continuación se entregan los poderes caloríficos, eficiencias referenciales y precios referenciales para distintos tipos de combustibles.

Combustible	PCS [kJ/kg]	η [%]	Precio [US\$/MMBTU]	Precio [\$/kg]
Petróleo 6	43124	83	10.0	220
Petróleo 5	43124	83	10.0	225
Petróleo 2	45636	85	15.0	367
Gas natural	38627	80	12.5	319
Gas licuado	44105	80	13.0	284
Carbón	27632	80	6.0	85
Pellets	18003	85	7.6	70
Chips	13636	70	5.7	40

4. Ejemplo Práctico

Se desea calcular el costo asociado a la generación de vapor de una caldera con las siguientes características:

- Producción de vapor : 4.2 [ton/h]
- Presión de trabajo : 7 [bar]
- Combustible : Petróleo N°2
- Temperatura agua alimentación : 25 °C

El consumo de combustible viene dado por:

$$\dot{m}_{comb} = 4.2 \cdot (2768 - 105) \cdot 100000 / (45636 \cdot 85) = \mathbf{288.33 [kg/h]}$$

Además, considerando que los costos mensuales relacionados a la generación de vapor son:

- Consumo productos químicos : 0.30 [\$/kg]
- Consumo de agua : 0.62 [\$/kg]
- Consumo energía eléctrica : 0.42 [\$/kg]
- Sueldos de operadores : 0.89 [\$/kg]

ARTÍCULO TÉCNICO

Costo de Generación de Vapor

Por lo tanto, el precio del vapor será:

$$PV = \frac{(2768 - 105) \cdot 367 \cdot 100}{45636 \cdot 85} + 0.3 + 0.62 + 0.42 + 0.89 = \mathbf{27.42} \text{ [$/kg]}$$

El precio del vapor solamente asociado al costo de combustible es de 25.2 [\$/kg], lo que representa sobre el 90 % del costo total de generación de vapor.

5. Comentario

Dado que el combustible resulta ser el parámetro que prácticamente determina el costo de generación de vapor, resulta sumamente atractivo implementar sistemas que permitan mejorar la eficiencia de una planta térmica, o bien evaluar combustibles de menor costo, para reducir los gastos asociados a la producción de vapor.