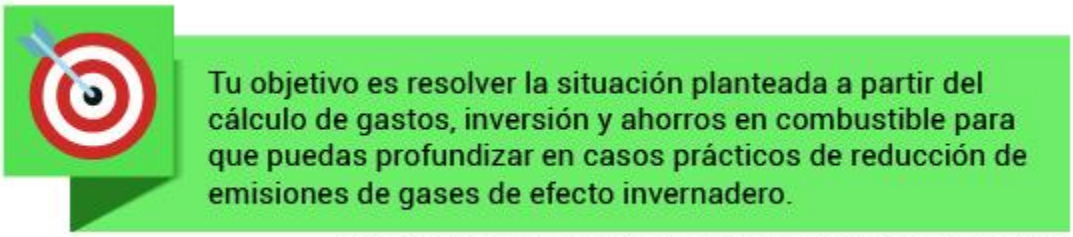
Curso	Mercados de carbono: una forma de mitigar el cambio climático.
Tema	6. Casos prácticos
Subtema	6.3 Cogeneración
Componente	Reto

Reto de cálculo de reducción de emisiones de CO_2



Imágenes tomadas y utilizadas conforme a la licencia de iStock.com

Ahorro con gas natural vehicular

Una cadena de restaurantes de comida rápida, tiene un problema con el **consumo de gasolina** por parte de las **unidades** de servicio a domicilio. Hace seis años, la cadena comenzó a crecer y abrió muchas sucursales, sin embargo, con el alza de los precios de combustibles, el **gasto por consumo de gasolina** se incrementó considerablemente, además de que las unidades de repartición envejecieron y presentan un **menor rendimiento**, lo cual implica un mayor consumo de gasolina.

Imágenes tomadas y utilizadas conforme a la licencia de iStock.com

La cadena de restaurantes, decidió invertir en tecnología de **gas natural vehicular** (GNV), ya que el dueño ha escuchado que al convertir sus vehículos de gasolina a GNV, podría reducir sus costos más de un 50% y, además, permite **reducir emisiones** que se pueden **vender** en un mercado nacional.

[614878106] enisaksoy/istock

Actualmente, la cadena cuenta con **150 vehículos**, todos a gasolina y con un rendimiento de **10 km/L**. Diariamente cada vehículo recorre aproximadamente **200 km**, lo cual representa un gasto de **$48,000 pesos diarios** por todos los vehículos.

Preguntas guía

- ¿Cuántos vehículos se deben convertir para lograr al menos un 50% de ahorro?
- ¿Cuál debería ser la inversión para convertir vehículos de gasolina a GNV?
- ¿Cuál es el consumo de gasolina y GNV en kg por año?
- ¿Cómo se calculan las emisiones reducidas en toneladas de CO_2-eq por año?

Consejos

- Recuerda calcular el consumo de gasolina por vehículo, así como las emisiones por vehículo a gasolina y a GNV.
- Considera que todos los vehículos tienen la misma edad y rendimiento.
- La recuperación de la inversión debe considerar el ahorro en combustible, así como el ingreso obtenido por las emisiones reducidas.

Datos adicionales

- La cadena de restaurantes opera 340 días al año, considéralo para tus cálculos.
- Considere que la gasolina tiene una densidad de 0.72 kg/L y el gas natural vehicular de 0.42 kg/L.
- Cada tonelada de CO2-eq reducida tiene un valor en el mercado nacional de $700.
- El equipo de conversión tiene un costo de $30,000 por vehículo con instalación incluida.
- El factor de emisión de la gasolina y gas natural vehicular es de 3.07 kg CO2 y 2.69 kg por kilogramo de combustible, respectivamente.
- El rendimiento de los vehículos convertidos es de 13 km/L.
- El costo de cada litro equivalente de gas natural es de $6.5 por litro.

Opciones

A. El dueño de la cadena de restaurantes deberá convertir un total de 40 unidades a gas natural vehicular para obtener un ahorro del 50%. La inversión sería de 1.2 millones con un tiempo de recuperación de 1.7 meses.

B. El dueño de la cadena de restaurantes deberá convertir un total de 40 unidades a gas natural vehicular para obtener un ahorro del 50%. La inversión sería de 1.2 millones con un tiempo de recuperación de 4.4 meses.
C. El dueño de la cadena de restaurantes deberá convertir un total de 40 unidades a gas natural vehicular para obtener un ahorro del 50%. La inversión sería de 1.2 millones con un tiempo de recuperación de 2.0 meses.
D. El dueño de la cadena de restaurantes deberá convertir un total de 40 unidades a gas natural vehicular para obtener un ahorro del 50%. La inversión sería de 1.2 millones con un tiempo de recuperación de 1.5 meses.

Retroalimentación

El dueño ahorra exactamente 24,000 pesos diarios al convertir solamente 40 unidades de las 150 que tiene, logrando una reducción de 364 toneladas de CO_2-eq al año.

Curso	Mercados de carbono: una forma de mitigar el cambio climático.
Tema	6. Casos prácticos
Subtema	6.3 Cogeneración
Componente	PDF

Reducción de emisiones con una planta de cogeneración

A continuación se presenta cómo la cogeneración proporciona beneficios económicos y medio ambientales a comparación de una planta de generación tradicional.

Una planta de generación de electricidad tradicional, decidió convertir su sistema a **cogeneración** para aprovechar la **energía térmica** en otra parte del proceso y de esta manera reducir emisiones. Anteriormente la energía térmica que se necesitaba tenía que solicitarse a CFE y por lo tanto generaba más emisiones para su producción.

La empresa quiere saber **cuántas toneladas de CO_2** se van a dejar de producir gracias al uso de la cogeneración y al aprovechamiento de la energía térmica.

Datos para el cálculo

Requisitos del proceso

- La planta requiere 4.5 MW de potencia eléctrica para funcionar.
- La caldera tiene una capacidad máxima de generación de vapor de 31.25 ton/h a 63 kg/cm^2 de presión y a una temperatura de 486 °C.

Eficiencia de dispositivos

- Eficiencia del alternador: 95%
- Eficiencia de la transmisión: 95%
- Eficiencia térmica de la turbina: 80%
- 1 kW de electricidad = 860 kcal/h

Condiciones de operación de los diferentes procesos de la cogeneración:

Proceso: Caldera → Flujo de vapor (ton/h): 31.25 → Entalpía específica (kcal/kg): 808
Proceso: Proceso 1 → Flujo de vapor (ton/h): 8 → Entalpía específica (kcal/kg): 662
Proceso: Proceso 2 → Flujo de vapor (ton/h): 3.25 → Entalpía específica (kcal/kg): 669
Proceso: Proceso 3 → Flujo de vapor (ton/h): 20 → Entalpía específica (kcal/kg): 659
** Entalpía: propiedad de las sustancias que da su contenido energético a ciertas condiciones de presión y temperatura.*

Solución

Para dar respuesta a la necesidad de la empresa se deben realizar los siguientes cálculos:

1. **Conoce cuánto calor entra a la caldera y cuánto calor es el restante a partir de lo que consumen los procesos.**

La cantidad de calor restante después de extraer el vapor para el proceso se calcula con la siguiente ecuación:

$$Entalpía\ total\ del\ vapor = entalpía\ específica\ \times\ flujo\ de\ vapor$$

Por lo tanto, las **entalpías totales** para cada proceso son:

$$Entalpía\ de\ entrada\ caldera = \left(808\frac{kcal}{kg}\right)\left(31.25\frac{ton}{h}\right)\left(\frac{1000\ kg}{1\ ton}\right) = 25{,}250{,}000\frac{kcal}{h}$$

$$Entalpía\ de\ salida\ proceso\ 1\ = \left(669\frac{kcal}{kg}\right)\left(3.25\frac{ton}{h}\right)\left(\frac{1000\ kg}{1\ ton}\right) = 2{,}174{,}250\frac{kcal}{h}$$

$$Entalpía\ de\ salida\ proceso\ 2 = \left(662\frac{kcal}{kg}\right)\left(8\frac{ton}{h}\right)\left(\frac{1000\ kg}{1\ ton}\right) = 5{,}296{,}000\frac{kcal}{h}$$

$$Entalpía\ de\ salida\ proceso\ 3 = \left(659\frac{kcal}{kg}\right)\left(20\frac{ton}{h}\right)\left(\frac{1000\ kg}{1\ ton}\right) = 13{,}180{,}000\frac{kcal}{h}$$

El **calor restante** se calcula con la resta de entalpía de entrada menos las entalpías de salida:

$$Calor\ restante = 25{,}250{,}000\frac{kcal}{h} - \left(2{,}174{,}250\frac{kcal}{h} + 5{,}296{,}000\frac{kcal}{h} + 13{,}180{,}000\frac{kcal}{h}\right)$$

$$Calor\ restante = \mathbf{4{,}599{,}750\frac{kcal}{h}}$$

2. **Determina la potencia que podría ser generada por una sola turbina que cumpla con los requisitos de vapor de proceso (proceso 1).**

La **potencia generada** se calcula multiplicando el valor del calor restante por las eficiencias del alternador, de la transmisión y de la turbina. Y como se está calculando potencia, esta se debe medir en **Watts** por lo que se necesita una conversión de unidades.

$$Potencia\ generada = \left(4{,}599{,}750\frac{kcal}{h}\right)(0.95)(0.95)(0.8)\left(\frac{1\ kW}{860\frac{kcal}{h}}\right)$$

$$Potencia\ generada = 3861.65\ kW_e\left(\frac{1\ MW}{1000\ kW}\right) = \mathbf{3.86\ MW}$$

3. **Calcula la cantidad adicional de energía que se compra en la red (proceso 2).**

Al inicio se mencionó que la planta requiere 4.5 MW y la potencia generada por una turbina es de 3.86 MW.

Debido a que los requisitos de potencia de la planta son mayores a la potencia generada, se debe **comprar energía adicional** en la red.

$$Potencia\ adicional = 4.5\ MW - 3.86\ MW = \mathbf{0.64\ MW}$$

4. **Calcula la relación calor/potencia de la planta de cogeneración (proceso 3).**

Este cálculo permite conocer el **potencial de cogeneración** de un proceso, es decir, la cantidad de energía disponible que se puede **aprovechar** en lugar de desperdiciarla al ambiente.

Para calcular la relación de calor/potencia, primero debe calcularse el calor aprovechable en los procesos de salida.

$$Calor = \left(2{,}174{,}250\frac{kcal}{h} + 5{,}296{,}000\frac{kcal}{h} + 13{,}180{,}000\frac{kcal}{h}\right)\left(\frac{1\ kW}{860\frac{kcal}{h}}\right)\left(\frac{1\ MW}{1000\ kW}\right)$$

$$Calor = 24\ MW$$

La relación de calor/potencia es la división de la energía que se puede aprovechar (calor) entre la energía generada (potencia eléctrica).

$$Relación\ calor\ /\ potencia = \frac{24\ MW}{3.86\ MW} = \mathbf{6.21MW}$$

5. **Obtén la cantidad de toneladas de CO_2 que se eliminarían con el proceso de cogeneración.**

Si consideramos que la planta genera 3.86 MW, que opera 8760 horas al año y que el factor de la red eléctrica nacional es de 0.459 tCO2/MWh, la empresa tendría una **reducción de emisiones** de:

$$Reducción\ CO_2 = 3.86\ MW(8760\ h)\left(\frac{0.459\ tCO_2}{MWh}\right) = \mathbf{15{,}520\ \frac{tCO_2}{año}}$$

Estas emisiones equivalen a una reducción del 86% con respecto al proceso original sin cogeneración.

Como puedes notar, este es otro ejemplo de una conversión de tecnología pero ahora aplicado a gran escala, en donde las emisiones de gas de efecto invernadero se reducirían significativamente, lo cual también podría ser aprovechado en el mercado de carbono.

Curso	Mercados de carbono: una forma de mitigar el cambio climático.
Tema	6. Casos prácticos
Subtema	6.4 Sustitución de combustibles
Componente	HTML

Emisiones y poder calorífico de combustibles

A continuación se presenta un ejemplo de los diferentes índices de emisiones de GEI para que distingas cuáles son los combustibles con mayor y menor cantidad de emisiones.

Debido a la situación crítica que se vive en el mundo actual respecto al **cambio climático**, se está buscando comenzar a utilizar combustibles que generen la menor cantidad posible de **emisiones** de gases de efecto invernadero.

Cada combustible tiene un **poder calorífico** y un **factor de emisión** diferente:

- **Combustóleo**

Poder calorífico PC (TJ/Gg) → 40.4
Factor de emisión (tCO_2/TJ) → 77.4

- **Gasolina**

Poder calorífico PC (TJ/Gg) → 44.3
Factor de emisión (tCO_2/TJ) → 69.3

- **Diésel**

Poder calorífico PC (TJ/Gg) → 43.0
Factor de emisión (tCO_2/TJ) → 74.1

- **Carbón**

Poder calorífico PC (TJ/Gg) → 26.7
Factor de emisión (tCO_2/TJ) → 94.6

- **Gas natural**

Poder calorífico PC (TJ/Gg) → 48.0
Factor de emisión (tCO_2/TJ) → 56.1

Imagina que en una región del norte de México hay una **planta termoeléctrica** que utiliza **carbón** como combustible para la generación de energía eléctrica.

El carbón se quema en una **caldera** para generar vapor de agua, este pasa por una **turbina** de vapor que produce trabajo mecánico para ser transformado en **energía eléctrica**.

Esta planta de energía utiliza **20,000 kg de carbón** por día. De acuerdo a las emisiones de CO_2 que emite al año, ¿cuál es el combustible más recomendable para reducir ese índice de emisiones?

Para responder a esto se utiliza la siguiente fórmula:

Emisiones por carbón = (Energía entregada) (Factor de emisión)

El dato de **factor de emisión** ya se proporcionó en la tabla; sin embargo, para calcular la **energía generada** se requiere obtener cuánta energía está generando actualmente el carbón que se utiliza, para después compararlo con lo que deben generar los otros combustibles:

$$Energía\ de\ generada = \left(20\frac{ton}{día}\right)\left(\frac{365\ días}{1\ año}\right)\left(\frac{1\ Gg}{1000\ ton}\right)\left(26.7\frac{TJ}{Gg}\right) = 194.91\frac{TJ}{año}$$

Ahora que se cuenta con este dato, ya es posible calcular la cantidad de **emisiones de CO_2** por combustible:

Carbón

$$\left(194.91\frac{TJ}{año}\right)\left(94.5\frac{tCO_2}{TJ}\right) = \mathbf{18,419}\ \frac{\boldsymbol{tCO_2}}{\boldsymbol{año}}$$

Combustóleo

$$\left(194.91\frac{TJ}{año}\right)\left(77.4\frac{tCO_2}{TJ}\right) = \mathbf{15,086}\ \frac{\boldsymbol{tCO_2}}{\boldsymbol{año}}$$

Gasolina

$$\left(194.91\frac{TJ}{año}\right)\left(69.3\frac{tCO_2}{TJ}\right) = \mathbf{13,507}\ \frac{\boldsymbol{tCO_2}}{\boldsymbol{año}}$$

Diésel

$$\left(194.91\frac{TJ}{año}\right)\left(74.1\frac{tCO_2}{TJ}\right) = \mathbf{14,443}\ \frac{\boldsymbol{tCO_2}}{\boldsymbol{año}}$$

Gas natural

$$\left(194.91\frac{TJ}{año}\right)\left(56.1\frac{tCO_2}{TJ}\right) = \mathbf{10,934}\ \frac{\boldsymbol{tCO_2}}{\boldsymbol{año}}$$

Como puedes observar, el **gas natural** representa **la mejor alternativa** ya que con la misma generación de energía se emiten 10,934 tCO_2 al año. En este caso se estarían dejando de emitir 7,485 tCO_2 al año **en comparación con el uso de carbón.**

Por último, calculemos el flujo de gas natural necesario para operar de acuerdo a su poder calorífico:

$$Flujo\ de\ GN = \frac{194.91\frac{TJ}{año}}{48\frac{TJ}{Gg}} = 4.0606\frac{Gg}{año}\left(\frac{1000\ ton}{1\ Gg}\right)\left(\frac{1año}{365\ días}\right) = \mathbf{11.125}\frac{\boldsymbol{ton}}{\boldsymbol{día}}$$

Nuevamente, se ha analizado otro ejemplo en el que el gas natural es una alternativa viable para la reducción de gases de efecto invernadero, en esta ocasión, tomando en cuenta el poder calorífico de este combustible en comparación de otros que se han utilizado a lo largo de la historia.