Curso Online

Eficiencia Energética en el Sector Agroalimentario

Módulo 6: Refrigeración (2ª Parte)

Dictado por: Ricardo Cereceda

Ingeniero Civil Químico
CEM-CMVP-Auditor Líder ISO 50001
Gerente de Proyectos
Ingeniería Proquilab Ltda.



Con el apoyo de:







Módulo 6 (2º Parte)

- Caso 1 :Temperatura de la fruta
- Caso 2: Balance de Energía
- Caso 3: Recuperación de calor
- Caso 4: Ahorro de combustible













Caso 1: Temperatura de la fruta





Caso 1: Temperatura de la fruta

En una instalación la temperatura promedio de la fruta que llega a la planta es 15°C.

Por efectos de la temperatura ambiente y falta de protección contra el sol, la fruta aumenta su temperatura a 25°C.

Considerando que en ambos casos la fruta debe enfriarse a 2°C.

Determine en qué porcentaje aumenta la carga térmica a remover.





Caso 1: Temperatura de la fruta

La carga térmica de la fruta se determina por

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta t$$

Entonces:

Calor a remover con fruta a 15°C $\dot{Q}_{15} = \dot{m} \times C_p \times (15-2) = 13 \ \dot{m} \times C_p$

Calor a remover con fruta a 25°C $\dot{Q}_{25} = \dot{m} \times C_p \times (25-2) = 23 \ \dot{m} \times C_p$

Relación de aumento de carga térmica $\frac{Q_{25}}{\dot{Q}_{15}} = \frac{23}{13} = 1,77$

La carga térmica a remover aumenta en un 77%.





Caso 2 : Balance de Energía





Una planta tiene un sistema de refrigeración como uno de los principales consumos de electricidad, ante lo cual, la empresa desea detectar pérdidas de energía del sistema y opciones que permitan mejorar su eficiencia energética.

La cámara de refrigeración del sistema opera a 5ºC.

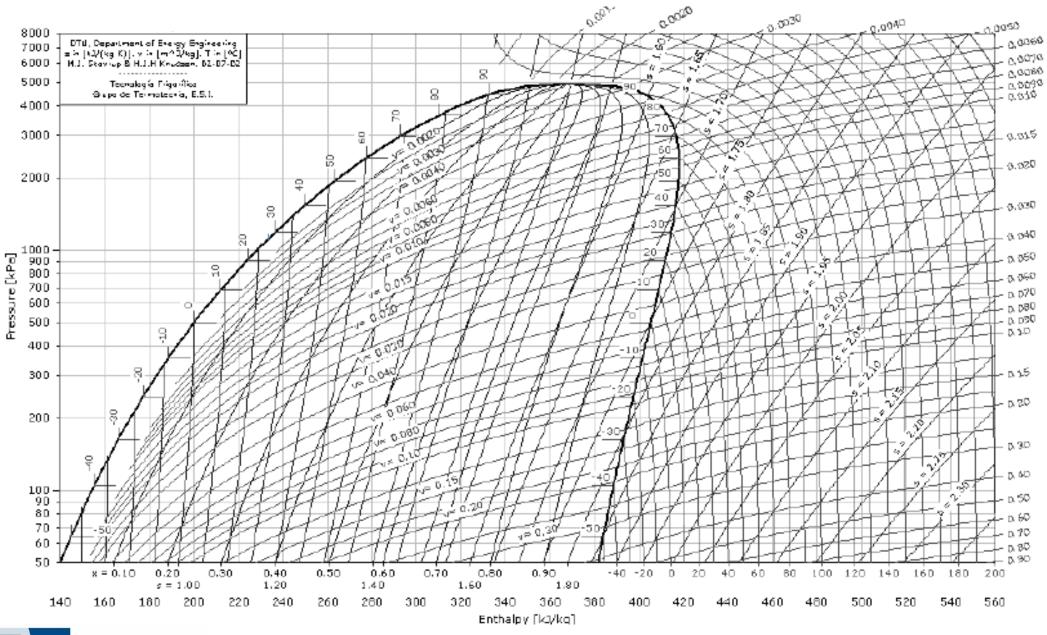
El sistema cuenta con un compresor de tornillo que tiene un consumo promedio de 128 KW. Las presiones y temperaturas del fluido refrigerante son:

- a la salida del compresor : 1130 kPa y 70ºC
- a la salida del evaporador: 436 kPa y -4ºC.

Para realizar el balance de energía del circuito de refrigeración se requiere conocer las entalpías en las distintas etapas del ciclo, las cuales las obtiene del gráfico o tabla de propiedades termodinámicas del refrigerante.







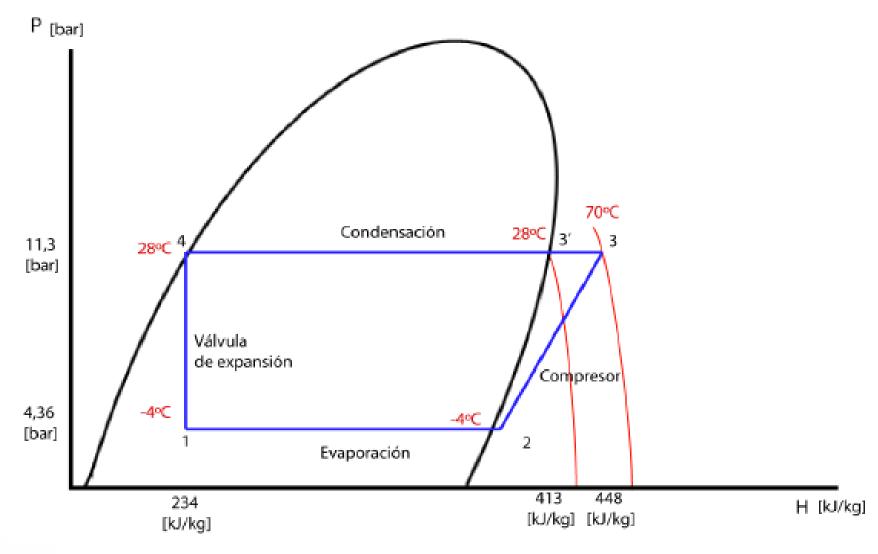




Ítem	Presión [bar]	Temp. [ºC]	Entalpía (h) [KJ/kg]
Salida compresor (vapor sobrecalentado)	11,3	70	448
Salida condensador (líquido)	11,3	28	234
Salida válvula (líquido)	4,4	-4	234
Salida evaporador (vapor)	4,36	-4	403

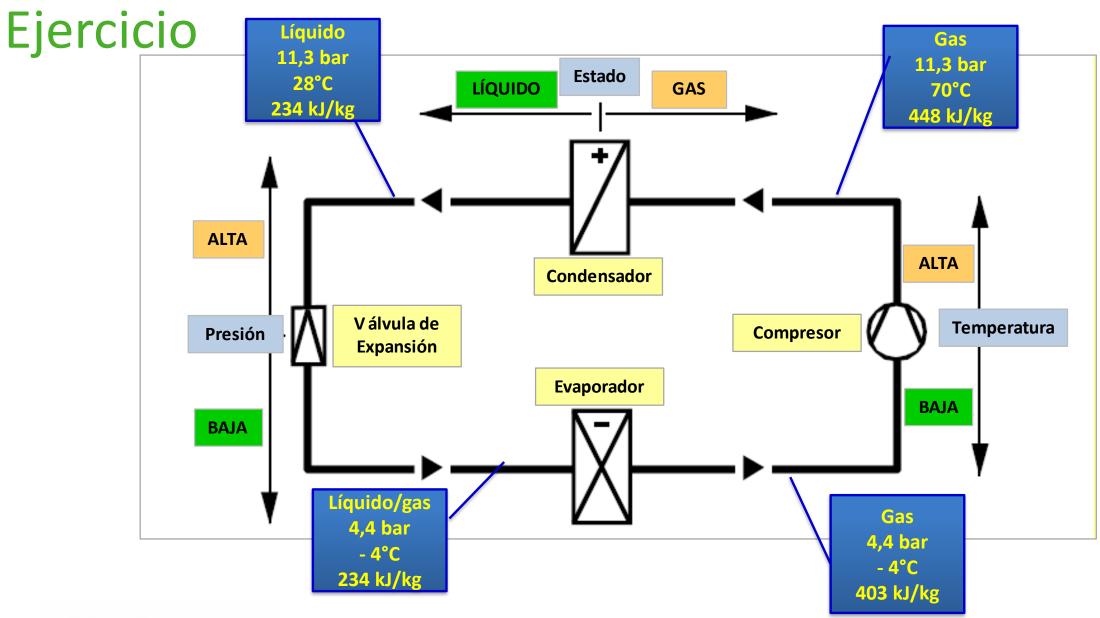
















- \triangleright Eficiencia del motor: $\eta_m = 90\%$
- \triangleright Eficiencia del Compresor: $\eta_c = 60\%$
- ➤ El Evaporador tiene 6 ventiladores de 2,7 kW de potencia con 80% de eficiencia
- > Calcule:
 - ☐ La eficiencia del sistema motor-compresor
 - ☐ El flujo del refrigerante
 - ☐ El calor absorbido por el evaporador
 - ☐ Potencia del compresor
 - ☐ Consumo de energía de los ventiladores del evaporador
 - ☐ COP del ciclo de refrigeración





- 1. Eficiencia del sistema Motor compresor = η_{motor} x η_{comp} = 90% x 60% = 54%
- 2. Balance de energía en el compresor
- $m x(h_{salida} h_{entrada})_{comp} = \eta_{mot-comp} x Consumo_{mot-comp}$
- $m = (0.54 \times 128) / (448-403) = 1,55 \text{ kg/s} = 5.579 \text{ kg/h}$
- 3. Calor absorbido por el evaporador
- $Q_{evap} = m x(h_{salida} h_{entrada})_{evap} = 1,55 x (403-234) =$ **262.4 kW**





4. Potencia del compresor

• Pot. comp = Cons. motor x
$$\eta$$
 motor x η comp = 128 x 0,9 x 0,6 = **69 kW**

5. Consumo ventiladores

• Cons. Vent. =
$$(n \times Pot_{vent}) / \eta_{vent} = (6 \times 2.7) / 0.8 = 20.3 \text{ kW}$$

6. COP

•
$$_{\text{cop}} = \Delta h_{\text{evap}} / \Delta h_{\text{comp}} = (403 - 234) / (448 - 403) = 3,8$$





Caso 3: Recuperación de calor



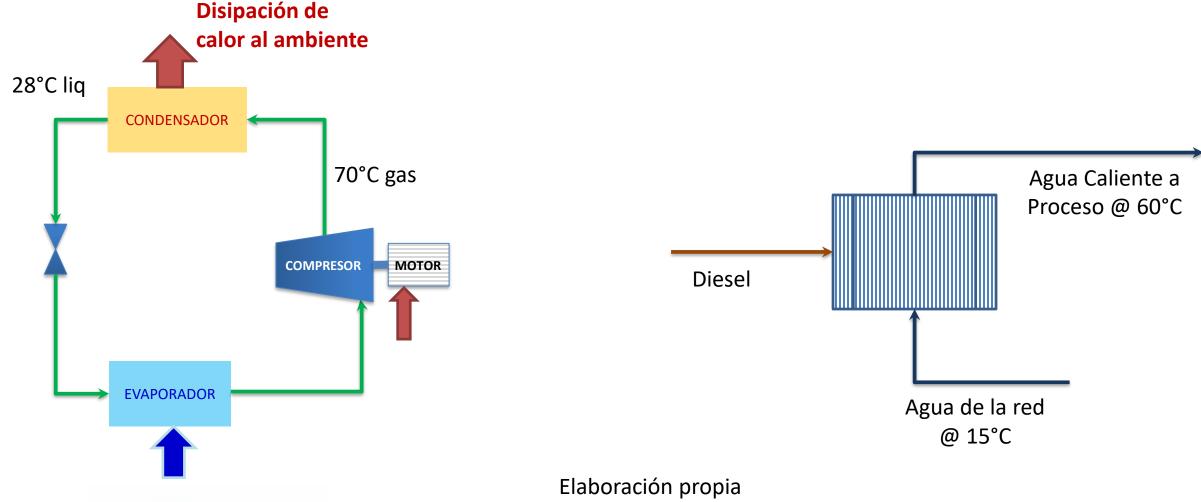


Considerando que el proceso anterior requiere agua caliente a 60°C para sus procesos de lavado, la que se obtiene en una caldera que utiliza diésel y tiene una eficiencia del 85%.





Se observa que la situación de la empresa es esta... ¿Qué propondría para mejorar el desempeño energético?







Ejercicio

Considerando que la empresa del ejemplo anterior requiere agua caliente a 60°C para sus procesos de lavado, que se obtiene de una caldera que utiliza diésel y tiene una eficiencia del 85%.

En este sentido se advierte que existe una posibilidad de recuperar en calor disipado en el condensador del sistema de refrigeración.

Por razones técnicas no es posible recuperar el total del calor sino sólo el calor latente.

Se determinó que la temperatura del refrigerante a la salida del compresor es de 70°C y la temperatura de saturación es de 28°C en el condensador ($\Delta t_{enfrigmiento}$ = 42°C).





Para tener un flujo apropiado de agua como portador de calor y tener un Δt apropiado entre ambos fluidos, sólo es posible recuperar calor del enfriamiento del refrigerante hasta la temperatura de saturación.

Determinar la cantidad de agua caliente que podría obtenerse

El calor disponible a recuperar en la fase de enfriamiento del refrigerante se determina con el balance de energía siguiente:

$$\dot{Q}_{recuperable}[kW_t] = \dot{Q}_{enfriamiento}[kW_t]$$

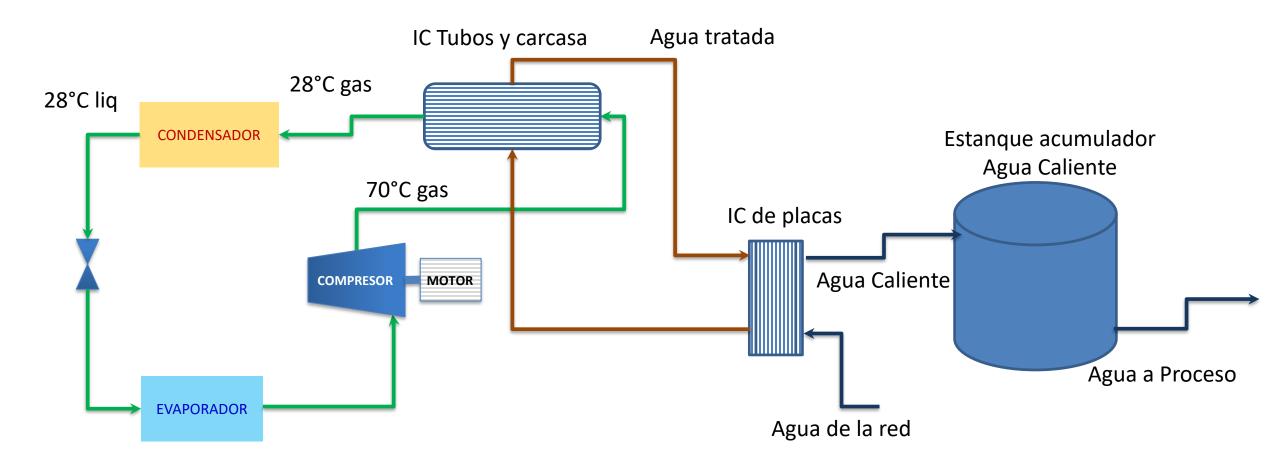
$$\dot{Q}_{recuperable}[kW_t] = \dot{m}\left[\frac{kg}{s}\right] \times \left(h_{salida\ comp.} - h_{vapor\ sat.}\right)\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$\dot{Q}_{recuperable}[kW_t] = 1,55\left[\frac{kg}{s}\right] \times (448 - 415)\left[\frac{kJ}{kg}\right]$$

$$\dot{Q}_{recuperable}[kW_t] = 51,2\left[\frac{kJ}{s}\right] = 51,2[kW]$$











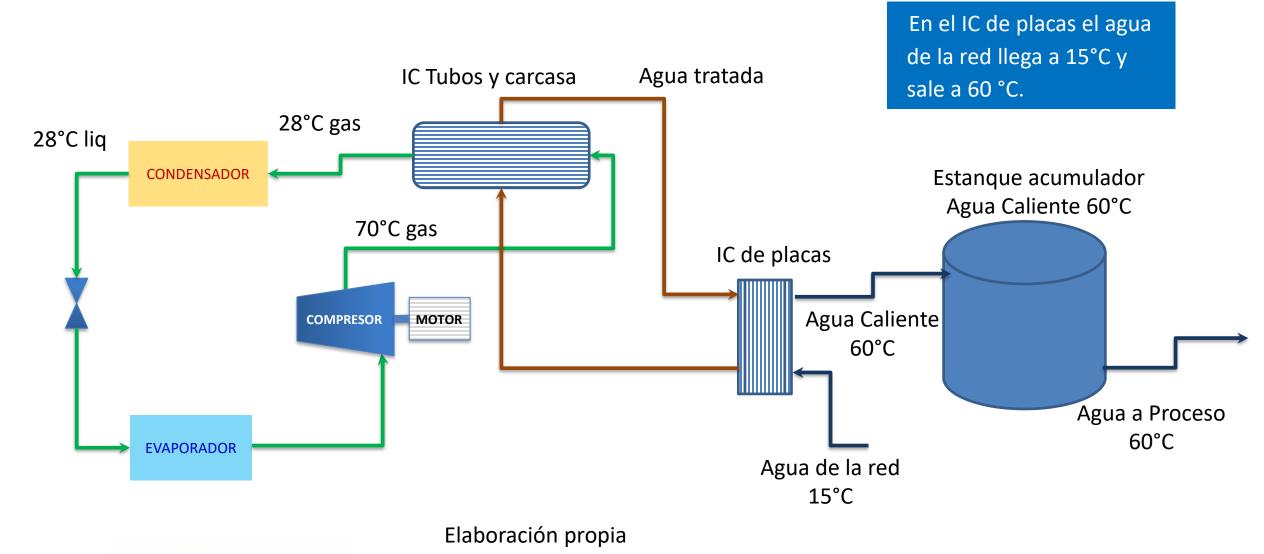


Como el uso de agua no es continuo, ni tampoco es simultáneo con la operación del sistema de refrigeración, se requiere un estanque aislado de acumulación de agua caliente.

Para la recuperación de calor se considera un intercambiador de tubo y carcasa para el enfriamiento del refrigerante con agua tratada y a continuación un intercambiador de calor de placas conectado al estanque de lavado para calentar el agua de lavado con el circuito de agua tratada.











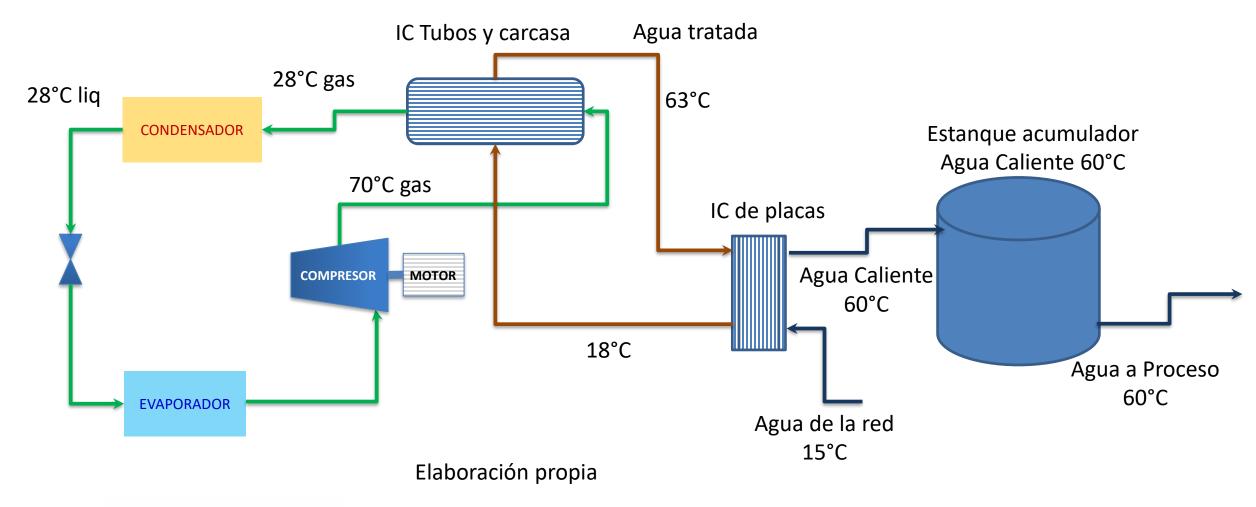
Suponiendo un ΔT de 3°C en este IC, el agua tratada debiera entrar a 63°C y salir a 18°C.

Por otra parte suponiendo un ∆t de 7°C en el IC de tubos y carcasa,), esta agua como máximo podría llegar a 63°C al enfriar el refrigerante desde 70°C hasta 28°C.

Considerar que el Cp_{agua} = 4,18 kJ/kg°C











El caudal de agua del circuito de agua tratada queda determinado por la siguiente relación:

$$\dot{m}_{ag.trat.} \left[\frac{kg}{s}\right] = \frac{\dot{Q}_{recuperable} \left[kW_{t}\right]}{Cp_{ag\ trat.} \left[\frac{kJ}{kg°C}\right] \times (T_{s} - T_{e})[°C]}$$

$$\dot{m}_{ag.trat.}[\frac{kg}{s}] = \frac{51,2[kW_t]}{4,18[\frac{kJ}{kg\,°C}] \times (63-18)[°C]}$$

$$\dot{m}_{ag.trat.} \left[\frac{kg}{s} \right] = 0.272 \frac{kg}{s} = 16 \frac{L}{min} = 980 \frac{L}{h}$$





$$\dot{m}_{ag.proc.lav.} \left[\frac{kg}{s}\right] = \frac{\dot{Q}_{recuperable} \left[kW_{t}\right]}{Cp_{ag.proc.lav.} \left[\frac{kJ}{kg \, ^{\circ}C}\right] \times (T_{s} - T_{e}) \left[^{\circ}C\right]}$$

$$\dot{m}_{ag.proc.lav..}[\frac{kg}{s}] = \frac{51,2[kW_t]}{4,18[\frac{kJ}{kg \, {}^{\circ}C}] \times (60-15)[{}^{\circ}C]}$$

$$\dot{m}_{ag.proc.lav.} \left[\frac{kg}{s} \right] = 0.272 \frac{kg}{s} = 16 \frac{L}{min} = 980 \frac{L}{h}$$

El aumento de temperatura del agua de lavado de 15°C a 60°C (45°C) es igual a la diferencia entre las temperaturas extremas del agua tratada, de 18°C a 63°C (45°C), por lo tanto como ambas tienen el mismo C_D y el mismo Δt , el caudal del agua a proceso también será 16 lt/min





Caso 4: Ahorro de combustible





La caldera de agua caliente opera con Diesel (PCI 36.176 KJ/lt), tiene una eficiencia de 85%.

¿Cuánto es el ahorro de combustible?

Cuanto es el menor costo energético?





La caldera de agua caliente opera con Diesel (PCI 36.176 KJ/lt), tiene una eficiencia de 85%.

El ahorro de Diesel derivado de esta opción de eficiencia energética se estima de la manera siguiente:

$$\begin{split} \dot{m}_{di\acute{e}sel}[\frac{L}{h}] &= \frac{\dot{Q}_{recuperable}[kW_t] \times 3.600~[\frac{s}{h}]}{\eta_{caldera}\% \times PCI_{di\acute{e}sel}\frac{kJ}{L}} \\ \dot{m}_{di\acute{e}sel}[\frac{L}{h}] &= \frac{51,2[kW_t] \times 3.600~[\frac{s}{h}]}{85\% \times 36.176_{di\acute{e}sel}\frac{kJ}{L}} \\ \dot{m}_{di\acute{e}sel}[\frac{L}{h}] &= 6,0\frac{L}{h} \end{split}$$





La caldera de agua caliente opera 6.000 horas al año, con un precio del diésel de \$ 580/L, el ahorro anual de Diesel será:

$$\dot{m}_{di\acute{e}sel}[\frac{L}{a\~{n}o}] = 6.0\frac{L}{h} \times 6.000\frac{h}{a\~{n}o} = 36.000\frac{L}{a\~{n}o}$$

Ahorro
$$_{di\acute{e}sel}[\frac{\$}{a\~{n}o}] = \dot{m}_{di\acute{e}sel}\left[\frac{L}{a\~{n}o}\right] \times Precio_{di\acute{e}sel}[\frac{\$}{L}]$$

$$Ahorro _{di\acute{e}sel}[\frac{\$}{a\~{n}o}] = 36.000\left[\frac{L}{a\~{n}o}\right] \times 580[\frac{\$}{L}]$$

Ahorro
$$_{di\acute{e}sel} = 20.880.000 \left[\frac{\$}{a\~{n}o} \right]$$





¡Muchas gracias por su atención!



Ricardo Cereceda

56 9 9919 7132

Ingeniero Civil Quíimico
CEM-CMVP-Auditor Líder ISO 50001
Gerente de Proyectos
Ingeniería Proquilab Ltda.
www.proquilab.cl
r.cereceda@proquilab.cl



omentado por el:





