

# Implementación de cogeneración en una industria láctea.

---

PROYECTO INDUSTRIAL 2013



**Luis de Saldamando**  
**Florencia Díaz**  
**Lucía Guzzo**  
**Lucía Maceiras**  
**Cecilia Rebellato**

**Instituto de Ingeniería Química**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de la República**

**Tutor:**  
**Ing. Quim. Jorge Castro**

# *Capítulo I: Resumen ejecutivo*

---

## Resumen ejecutivo

---

El objetivo de este proyecto fue, inicialmente, evaluar la instalación de una planta láctea productora de quesos, y a su vez, la posibilidad de instalar la tecnología de cogeneración en la misma; razón por la cual el estudio de mercado y comercialización realizado en una primera instancia se refiere tanto a quesos como a energía eléctrica.

Sin embargo, se decidió cambiar el objetivo y el nuevo enfoque es la evaluación técnica y económica de la implementación de cogeneración en una planta láctea productora de quesos ya existente en Uruguay. Los requisitos que se establecieron para la planta fueron procesar en el entorno de 250.000 litros de leche diarios y tener como producto principal quesos. La planta seleccionada fue CALCAR, ubicada en Carmelo, debido al interés mostrado en el proyecto y a que se aproxima a los requisitos de procesamiento planteados anteriormente.

CALCAR cuenta con dos plantas industriales, una en la ciudad de Carmelo y otra en la ciudad de Tarariras, ambas situadas en el departamento de Colonia. Se seleccionó la planta de Carmelo para la implementación del proyecto debido a que ésta procesa solamente quesos, mientras que la planta de Tarariras produce otros derivados lácteos. Actualmente CALCAR Carmelo cuenta con una línea de quesos con una capacidad de 9.000 litros por hora, siendo la producción diaria de aproximadamente 200.000 litros de leche por día. Dentro de los quesos producidos por la planta se encuentran Muzzarella, Cuartirolo, Colonia, Edam, Gouda, Maasdam, Parmesano, Provolone, Ricotta, Sandwich, Sbrinz y Danbo. En cuanto a los servicios de vapor y frío, CALCAR dispone de una caldera principal con gasógeno que utiliza leña como combustible con una producción máxima anual de 4 toneladas de vapor por hora. La presión de trabajo de la caldera es de 1,0 MPa y el retorno de condensado se encuentra a 0,11 MPa y 70°C siendo un 60% del vapor generado. Para la generación de frío, dispone de un sistema de compresión de amoníaco el cual genera agua helada que es utilizada en la pasteurización, enfriamiento del recibo de leche y para las cámaras de conservación de los quesos. Para los requerimientos de energía eléctrica, CALCAR cuenta con una potencia contratada de 1 MW, siendo abastecida por un servicio trifásico de media tensión de 6.400 V que luego transforma a una tensión de 380 V para su uso en planta.

La cogeneración se define como la generación simultánea de energía térmica y eléctrica, a partir de una única fuente de energía. La trigeneración incluye también la generación de frío y su implementación en la planta de CALCAR no resultó conveniente ya que implicaba cambiar el sistema de frío con el que funciona actualmente y además eso no suponía una ventaja económica. Los distintos sistemas de cogeneración convencionales estudiados en el proyecto fueron turbina a vapor de condensación, turbina a vapor de contrapresión, turbina a gas y motores de combustión interna. La principal limitante de estos sistemas es la baja versatilidad para adaptarse a la alta variabilidad en el consumo de vapor que presentan las industrias lácteas debido a la diferencia en el procesamiento de leche durante el día y a lo largo del año. Por esto, se estudió el agregado del secado de suero como alternativa para mitigar dicha variabilidad, sin embargo no se logró el perfil de consumo de vapor requerido para alcanzar la viabilidad técnico-económica. Por otro lado, la planta no cuenta con residuos combustibles que permitan disminuir los costos asociados a la generación de vapor por lo que se plantea la recuperación y purificación del uso del biogás generado a partir de las lagunas de tratamiento de efluentes para utilizarlo

tanto como combustible en quema directa en la caldera o como impulsor de una turbina a gas. Una estimación del volumen posible a generar concluye que no se justifican los costos de recolección y purificación. Además de la limitante técnica, la inversión económica que implica la implementación de cogeneración convencional es muy alta, del orden de los US\$ 10 millones, no justificándose a partir de las mínimas ventajas obtenidas con este ciclo.

La alternativa propuesta fue el estudio de cogeneración a partir del ciclo Rankine orgánico (ORC). La principal diferencia respecto a la cogeneración convencional es la utilización de vapor de un fluido orgánico, con punto de ebullición menor que el del agua, para poner en funcionamiento la turbina. De esta forma se logra conseguir la generación de energía eléctrica a partir de fluidos con temperaturas menores a 100°C, lo que implica que no sea necesaria la instalación de una caldera de alta presión, permitiendo activar el ciclo con la utilización de calores residuales de la planta.

Actualmente, CALCAR no utiliza el calor de los humos de caldera, liberándolos a la atmósfera a una temperatura aproximada de 250°C. A partir de la utilización de un aceite térmico es posible recoger el calor aportado por los humos y utilizarlo tanto para activar el ciclo ORC como para precalentar el agua que ingresa a la caldera. Luego del estudio económico de ambas alternativas, resulta más favorable precalentar el agua de ingreso a la caldera, ahorrando combustible. Sin embargo, dado que el objetivo del proyecto es la implementación de cogeneración, se realiza una combinación de las alternativas planteadas. El régimen de trabajo consiste en el calentamiento de agua de forma continua mientras que adicionalmente el ORC se activa en su punto mínimo de funcionamiento sólo cuando el calor aportado por los humos es suficiente. El fluido orgánico a utilizar es el R245fa cuyo proveedor es Honeywell, no es tóxico ni inflamable, tiene un potencial de calentamiento global (GWP) de 1.000 el cual es bajo y un potencial de agotamiento de ozono (ODP) nulo, por lo que se considera seguro para el medioambiente.

El proveedor del módulo ORC es Infinity Turbine, que ofrece el ciclo completo, es decir, evaporador, condensador, turbina, bomba, generador y todas las interconexiones correspondientes. El modelo elegido es el IT10, cuya capacidad máxima de generación es de 11,4 kW. Se prevé ubicar el módulo en un galpón de hormigón de 25m<sup>2</sup> a construir dentro del predio de CALCAR.

La cantidad de energía eléctrica generada, 5,4 kW por cada hora de funcionamiento del ciclo, se volcará a la red de Baja Tensión de la industria láctea a 380 V. Sin embargo, esta potencia no es suficiente para abastecer el nuevo sistema integral de generación de energía eléctrica y calentamiento de agua. Además, al calentar el agua de ingreso a la caldera se consigue disminuir el gasto anual en leña en el entorno de los US\$ 21.000.

Vista la posibilidad de recuperar el calor residual de los humos de caldera, se consideró únicamente el calentamiento de agua previo a su ingreso al sistema de generación de vapor, como alternativa sin cogenerar. En esta situación se logra disminuir el gasto anual de leña en aproximadamente US\$ 35.000.

La inversión total del proyecto de implementación de cogeneración a partir del módulo ORC es de US\$ 180.200, de los cuales las inversiones amortizables son US\$ 175.600 y las no amortizables

US\$ 4.600. La inversión con capital propio no resultó conveniente ya que se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de US\$ -130.500 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de -13% por lo que no correspondió calcular el período de repago. Como consecuencia de este resultado, no se evaluó el financiamiento con capital mixto ya que sería imposible la obtención de un préstamo.

Además, se evaluó una situación particular de capital mixto a través de un financiamiento no reembolsable por parte de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII). Las características innovadoras de la instalación de cogeneración mediante ORC posibilitan el otorgamiento de un financiamiento no reembolsable por US\$ 100.000 por parte del Fondo Sectorial de Energía (FSE). La utilidad anual del proyecto hace que éste continúe siendo inviable, con un VAN de US\$ -30.500 y una TIR de -1%.

La inversión total de la alternativa que plantea exclusivamente el calentamiento de agua es de US\$ 36.500, de los cuales las inversiones amortizables son US\$ 35.500 y las no amortizables son US\$ 950. Para la financiación con capital propio el VAN es de US\$ 116.100 y la TIR de 66%, con un período de repago de 1,31 años lo que indica que el proyecto de inversión resulta viable.

Para el financiamiento con capital mixto, se considera un préstamo de US\$ 25.000 que financie el 70% de las inversiones totales, con un período de reembolso de 10 años y una tasa de interés del 8% anual, y dado el monto del préstamo, no se solicita período de gracia. El VAN es de US\$ 136.300 y la TIR del 206%, con un período de repago de 0,42 años. Esto determina que resulte más favorable realizar la inversión de la propuesta alternativa mediante el financiamiento con capital mixto.

En cuanto a la evaluación del proyecto de inversión, para el caso de la instalación del módulo ORC sólo corresponde realizar la evaluación desde el punto de vista del empresario (en este caso, CALCAR) y resultó que no sería rentable ni seguro realizar dicha inversión.

Por otro lado, la evaluación de la propuesta alternativa resultaría rentable y segura tanto con capital propio como mixto, siendo más favorable para el empresario la última opción. Por esto, se estima que se obtendría el préstamo por parte de la institución financiera considerando además que las condiciones del mismo se encuentran dentro de los parámetros nacionales normales. Por último, desde el punto de vista del Estado, la disminución del consumo de leña conlleva un beneficio medioambiental.

En conclusión, resultaría conveniente la instalación en CALCAR de un sistema de recuperación del calor residual de los humos de caldera para el calentamiento del agua destinada a la misma. Es importante destacar que dicha recuperación de calor no requiere la utilización de un fluido intermedio, como se planteó en el proyecto, siendo más conveniente utilizar únicamente un economizador ubicado en la chimenea de la caldera por el cual circule directamente el agua que va a ingresar a la misma.