

# Guía EFICIENCIA ENERGÉTICA

para la Agroindustria del Maule







Guía  
**EFICIENCIA  
ENERGÉTICA**  
para la Agroindustria del Maíz



## EDITORIAL

La "Guía eficiencia energética para la agroindustria del Maule©", busca identificar oportunidades de mejora energética e implementación de energías renovables en los 5 subsectores de la agroindustria nacional: Aceites, Congelados, Jugos, Conservas y Deshidratados, a través del levantamiento de información desde las mismas empresas y desde el estado del arte.

De esta forma, la guía busca actualizar la información relacionada con la distribución del consumo energético en y entre los subsectores de la Agroindustria y complementar las oportunidades de eficiencia energéticas factibles de implementar.

La "Guía eficiencia energética para la agroindustria del Maule©", ha sido desarrollada en el marco del Programa Estratégico Regional del Maule "Agroindustria para el Desarrollo" de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

Este desarrollo fue realizado por el Centro de Sistemas de Ingeniería Kipus, de la Universidad de Talca, en conjunto con CODESSER y con la colaboración de todas aquellas empresas pertenecientes al programa, quienes aportaron información primaria y retroalimentación.

### ■ APOYADO POR:

Programa estratégico regional del Maule "Agroindustria para el Desarrollo"  
Corporación de Desarrollo Social del Sector Rural. - CODESSER

### ■ FINANCIADO POR:

CORFO

### ■ AUTORES:

Diego Aliaga E. | Coordinador  
M. Luisa del Campo H. | Asesor Eficiencia Energética  
Felipe Varas C. | Asesor Combustión  
Carlos Torres F. | Evaluación y Edición  
Oihane Oskaritz S. | Auditoría  
Daniela Bass | Diseño

### ■ REGISTRO DERECHOS DE AUTOR: A-297515

©Copyright 2018 CODESSER

*Para consultas o mayor información con respecto a este material, contactar a PER "Agroindustria para el desarrollo".*

■ **Contáctanos:** contacto@maulealimenta.cl o +56712247498.





## — GLOSARIO

**Calor latente:** Energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase.

**Calor sensible:** Energía que recibe un cuerpo y que hace que su temperatura aumente, sin afectar la estructura molecular y por ende, su cambio de fase.

**Clientes libres:** clientes cuya potencia conectada es superior a 5.000 kW, y en donde la ley dispone de libertad de precios, suponiéndoles capacidad negociadora y posibilidad de proveerse de electricidad de otras fuentes (Consejo nacional de energía, 2018).

**Clientes regulados:** clientes cuya potencia conectada es inferior a 5.000 kW, donde las características del mercado son de monopolio natural, y por lo tanto, la ley establece que están afectos a regulación de precios. No obstante, aquellos clientes regulados que poseen una potencia conectada superior a 500kW, podrán decidir ser clientes libres o regulados por periodos de 4 años (Consejo nacional de energía, 2018).

**Congelación IQF:** Forma de congelación que no requiere colorantes ni conservante, y es más rápida debido a que los cristales de hielo se forman en el tejido del producto, lo que a su vez hace que no se produzcan deformaciones.

**Diagrama Sankey:** Representación gráfica de cantidad de energía (térmica o eléctrica), cuyos anchos de flecha son proporcionales a la cantidad de flujo que representa.

**Fuel oil N°6:** Fracción de petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. El número 6 indica que es del tipo pesado.

**Precio monómico:** Monto total que equivale a un precio único por concepto de venta o compra de energía y potencia (o de otra forma, costo total de la compra, dividido por la energía total comprada)

**Payback:** O también “plazo de recuperación”, es un criterio de valoración de inversiones en base a al tiempo que demora un proyecto en recuperar la inversión inicial.

**Set point:** Punto de referencia de alguna variable de un sistema de control automático. por ejemplo: Nivel, presión, temperatura, etc.

**Lumen (lm):** potencia de iluminación como captada por el ojo humano. Es la unidad para especificar los equipos de iluminación.

**Lux (lx):** 1lx = 1lm/m<sup>2</sup> y corresponde aproximadamente a una vela a 1 m de distancia.

## — ACRONIMOS

**ACS:** Agua caliente sanitaria

**GLP:** Gas licuado del petróleo

**GWh:** Gigawatt-hora (1 millón de kilowatts en una hora)

**KVA:** Unidad que indica la potencia leída o aparente de un equipo. Es la suma vectorial de la potencia real o activa y la potencia reactiva.

**kWp:** Kilowatt máximo que genera un conjunto de paneles PV cuando es sometido a una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> y 25°C

**MWh:** Megawatt-hora (1.000 kilowatts en una hora)

**PV:** tecnología fotovoltaica (photovoltaic system)

**USD:** Dólar estadounidense

**VSD:** Variador de frecuencia por sus siglas en inglés “variable speed drive”

**ANESCO:** Asociación Nacional de Empresas de Eficiencia Energética

**ESCO:** Empresas de Servicios Energéticos (Por sus siglas en inglés “Energy Service Company”)

**RPM:** Revoluciones por minuto

**ESPC:** Contratos de servicios energéticos por desempeño



stevepb



stevepb



akuptsova



fshnextension



stevepb



## — PRESENTACIÓN

El Programa Estratégico Regional del Maule “Agroindustria para el desarrollo” tiene el agrado de presentar la “Guía Eficiencia Energética para la Agroindustria del Maule”, documento que busca caracterizar el consumo energético de los diferentes subsectores de la agroindustria y actualizar a las empresas sobre medidas de eficiencia energética (MEE), con el objeto de mejorar la productividad y competitividad del sector.

Este producto consolida el trabajo conjunto del Programa “Agroindustria para el desarrollo”, y el Centro de Sistemas de Ingeniería Kipus, de la Universidad de Talca, en torno a la promoción y desarrollo de la eficiencia energética en los diferentes subsectores de la agroindustria del Maule.

Para el levantamiento de información primaria, se realizó una caracterización energética a 11 empresas del sector, con el fin de determinar su comportamiento energético y el potencial de eficiencia energética, de acuerdo a la realidad del subsector. Por su parte, mediante fuentes secundarias se complementaron los resultados obtenidos con el fin de entregar un marco de referencia y el estado de la técnica.

Según el estudio realizado, una planta típica del sector agroindustrial tendría un potencial de reducción en su consumo energético cercano al 30%, dependiendo de las medidas implementadas. No obstante, dicho potencial variará de acuerdo al nivel tecnológico de la línea de producción y de los procesos unitarios que la componen. Para el caso de las empresas en las que ya poseen un nivel de eficiencia energética elevado en sus líneas de proceso, se exploran medidas en procesos de

apoyo, como la iluminación y el aislamiento en la edificación, los cuales aun cuando no repercuten significativamente en el gasto eléctrico, poseen un VAN positivo en el mediano plazo. En la misma línea, y cuando ya se ha alcanzado una apropiada gestión energética de la empresa, es posible implementar proyectos de energías renovables, como la generación de Agua Caliente Sanitaria (ACS) con equipos termosolares o la generación eléctrica con paneles PV.

Estas medidas, en conjunto a otras 40 asociadas a Eficiencia Energética en motores, ventiladores, bombas, vapor, refrigeración, secadores, concentradores, entre otros, son revisadas en el capítulo 3 de la presente guía, entregando datos claves para su dimensionamiento, implementación y evaluación económica. Por su parte, en el capítulo 4, se presentan casos de estudio donde se revisan casos prácticos para dimensionar las MEE y evaluarlas económicamente.

Durante los últimos años, la agroindustria ha experimentado un notable crecimiento, lo que va de la mano con el aumento proporcional del gasto energético. Por lo tanto, la detección de oportunidades y la posterior implementación de MEE contribuirán en gran medida a una reducción de costos, así como también a la disminución de la huella carbono asociada. La invitación que se extiende tanto a empresarios, gerentes, jefes de planta y trabajadores de la agroindustria, es a incorporar mecanismos de eficiencia energética, y esperamos que esta guía sea una referencia disponible en su escritorio que permita lograrlo.





# CONTENIDO

1.	<b>Consumo energético en la agroindustria</b>	12
1.1	Precio de la energía eléctrica en principales competidores	13
1.2	Precio de la energía térmica en principales competidores	14
1.3	Intensidad energética de la agroindustria	15
1.4	Potencial de eficiencia energética en la Agroindustria	16
1.5	Metodología para caracterización energética	16
2.	<b>Caracterización de consumo de energía por subsector</b>	18
2.1	Energía eléctrica	19
2.2	Energía térmica	22
2.3	Distribución del consumo eléctrico en cada subsector	23
2.4	Distribución del consumo térmico en cada subsector	27
3.	<b>Áreas potenciales de eficiencia energética y energía renovable</b>	30
3.1	Motores	31
3.2	Ventiladores y bombas	36
3.3	Sistema de Vapor	41
3.4	Sistemas de refrigeración	43
3.5	Secadores	48
3.6	Concentradores	51
3.7	Aislación	52
3.8	Iluminación	59
3.9	Conexión eléctrica	62
3.10	Autogeneración mediante fuentes renovables	66
4.	<b>Casos de estudio</b>	72
4.1	Pequeña empresa de extractos naturales	73
4.2	Pequeña empresa de elaboración de jugos	77
4.3	Pequeña empresa de conservas	78
4.4	Caso gran empresa de conservas	80
4.5	Pequeña empresa de congelados	82
4.6	Gran empresa de congelados	85
4.7	Pequeña empresa de deshidratado	86
5.	<b>Fuentes de financiamiento</b>	90
5.1	Financiamiento convencional	91
5.2	Modelo ESCO	91
5.3	Tipos de contratos ESCO	91
5.4	Financiamiento y ESCO's	94
	<b>Recomendaciones</b>	97
	<b>Conclusiones</b>	97
	<b>Bibliografía</b>	99

# 1. Consumo energético en la agroindustria

El análisis de la posición competitiva de la agroindustria regional en el contexto global requiere, por un lado, contrastar el costo de la energía respecto de los principales competidores (USD/MWh), y, por otro lado, establecer la intensidad energética de los procesos en unidades energéticas por tonelada de producto (MWh/t). El primero es una condición determinada por factores externos, mientras que el segundo depende del desempeño de las empresas.



## 1.1. Precio de la energía eléctrica en principales competidores

En la Tabla 1, se puede observar el precio de la energía eléctrica de uso industrial, para la Región del Maule y los principales países competidores en el rubro. La Región tiene una posición de desventaja frente a varios países, excepto Brasil y Tailandia que presentan precios similares.

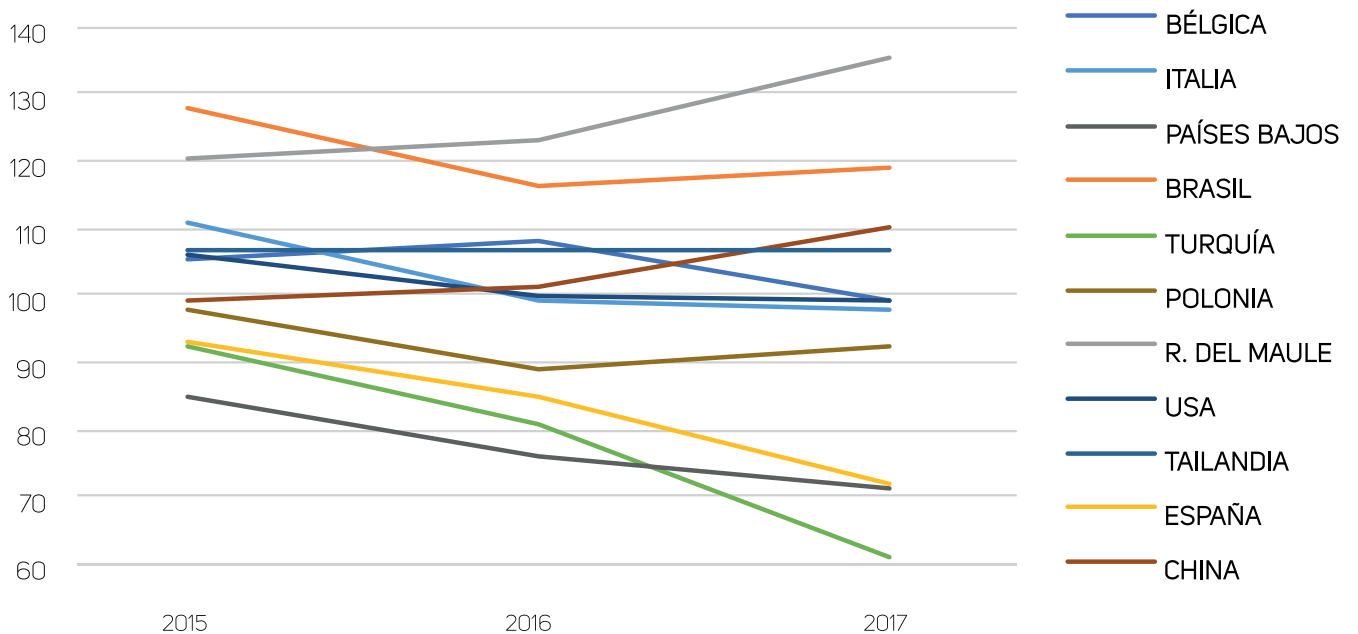
Tabla 1: precio energía eléctrica industrial en distintos mercados (USD/MWh)

AÑO	BÉLGICA	BRASIL	REGIÓN DEL MAULE	ESPAÑA	ITALIA	TURQUÍA	USA	CHINA	PAÍSES BAJOS	POLONIA	TAILANDIA
2015	105	128	120	93	111	92	106	99	84	98	107
2016	108	116	123	85	99	81	100	101	76	89	107
2017	99	119	135	72	98	61	99	110	71	92	107

Fuente: Elaboración propia en base a (EIA, 2018), (CGE, 2018), (EuroStat, 2018), (Zanlorenssi, Ostetti, & Alm, 2017), (CLP, 2018) y (Metropolitan Electricity Authority, 2018)

Una posición más desventajosa se advierte al observar la variación del precio de la energía eléctrica en el periodo comprendido entre 2015 y 2017, en donde solo la Región del Maule y China vieron aumentados sus precios significativamente, mientras los demás países los vieron disminuir o mantener (Ilustración 1).

Ilustración 1: Variación precio de USD/MWh eléctrico industrial en distintos mercados



Fuente: elaboración propia en base a (EIA, 2018), (CGE, 2018), (EuroStat, 2018), (Zanlorenssi, Ostetti, & Alm, 2017), (CLP, 2018) y (Metropolitan Electricity Authority, 2018)

En la Tabla 2 se pueden observar los precios de la energía eléctrica promedio por sector agroindustrial, para lo cual se clasifican los países competidores listados anteriormente según importancia en cada subsector. Esto es:

- Congelados: China, Polonia y Bélgica.
- Deshidratados: USA, China y Turquía.
- Jugos: Brasil, Países Bajos y Bélgica.
- Conservas: China, Tailandia y Países Bajos.
- Aceites: España e Italia.

Tabla 2: Precio promedio energía eléctrica por sector agroindustrial (USD MWh)

AÑO	CONGELADOS	DESHIDRATADOS	JUGOS	CONSERVAS	ACEITES
2015	100	99	106	92	102
2016	99	94	100	89	92
2017	100	90	96	90	85

Fuente: Elaboración propia en base a (EIA, 2018), (CGE, 2018), (EuroStat, 2018), (Zanlorenssi, Ostetti, & Alm, 2017), (CLP, 2018) y (Metropolitan Electricity Authority, 2018)

Las empresas regionales, ya sea mediante contratos como clientes libres, o bien a través de la autogeneración de energía, deberían apuntar a lograr precios menores o iguales al promedio de los principales competidores mundiales de cada subsector. Esto es, por ejemplo, para el caso de los congelados, apuntar a precios menores o iguales a 100 USD/MWh (equivalente a \$63/kWh a conversión nacional) en términos monómicos, es decir, considerando los costos por energía, potencia y transmisión.

## 1.2. Precio de la energía térmica en principales competidores

Siguiendo el análisis anterior, en la Tabla 3 se puede observar la evolución de los precios de energía térmica para Chile y los principales competidores del rubro agroindustrial. Aquí, más marcadamente que en el caso anterior, se observa una desventaja para Chile. Aun así, este escenario podría ser más favorable debido que se utilizó el gas natural para efectos de comparación, mientras que las fuentes de energía predominantes en la Región son el carbón y el petróleo pesado, ambos combustibles de menor precio que el gas natural.

Tabla 3: precio en USD por MWh térmico de gas natural en distintos mercados

Año	Bélgica	Chile	España	Italia	Turquía	USA	Países Bajos	Polonia	Brasil
2015	32,5	34,7	40,5	38,7	31,9	13,3	32,2	43,4	24,7
2016	28,1	34,8	32,5	33,9	28,1	12	26,7	31,2	16,4
2017	26	39,6	34,6	29,2	21,3	14,1	25	31,5	19,3
Promedio	28,9	36,4	35,9	33,9	27,1	13,1	28,0	35,4	20,1

Fuente: Elaboración propia en base a (Eurostat, 2018), (Petrobras, 2018), (EIA, 2018) y (Metrogas, 2018)

En la Tabla 4 se pueden observar los precios por MWh de energía térmica de gas natural de uso industrial promedio por sector agroindustrial, en este caso se clasifican los competidores listados anteriormente de la siguiente manera:

- Congelados: Polonia y Bélgica.
- Deshidratados: USA, y Turquía.
- Jugos: Brasil, Países Bajos y Bélgica.
- Conservas: Países Bajos.
- Aceites: España e Italia.

Tabla 4: precio en USD por MWh térmico de gas natural por sector agroindustrial

Año	Congelados	Deshidratados	Jugos	Conservas	Aceites
2015	25,3	22,6	29,8	32,2	39,6
2016	19,8	20,0	23,7	26,7	33,2
2017	26	39,6	34,6	29,2	21,3
Promedio	23,7	27,4	29,4	29,4	31,4

Fuente: Elaboración propia en base a (Eurostat, 2018), (Petrobras, 2018), (EIA, 2018) y (Metrogas, 2018)

En la Tabla 5 se puede observar el precio en USD/MWh del carbón para los distintos mercados y la Región del Maule (calculados a partir del precio por tonelada de carbón térmico equivalente a 7.000 kcal/kg). Se deduce que en promedio el precio del MWh térmico de carbón es un 30% más caro en la Región del Maule frente a los otros mercados.

Tabla 5: precio de carbón en distintos mercados en USD/MWh

Año	Noreste de Europa	USA Central	Región del Maule	Mercado Asiático	China
2014	9,3	8,5	13,6	9,6	10,3
2015	7,0	6,6	11,3	7,8	8,3
2016	7,4	6,6	10,0	8,6	8,8
Promedio	7,9	7,2	11,6	8,7	9,1

Fuente: Elaboración propia en base a (BP Tools, 2018) y (Energía Abierta, 2018)



## 1.3. Intensidad energética de la agroindustria

La intensidad energética, expresada en términos de MWh por tonelada producida, permite comparar el desempeño energético de una empresa respecto de otras del rubro. Una menor intensidad energética, puede significar una mayor eficiencia energética. No obstante, dado el alcance de los subsectores, este indicador se debe utilizar con precaución, pues los procesos pueden diferir en cuanto a sus necesidades energéticas. La Tabla 6 muestra una estimación de la intensidad en el uso de la energía eléctrica para los subsectores, en donde destaca el consumo en congelados (0,72 MWh/t) como máximo y aceites (0,12 MWh/t)<sup>1</sup> como mínimo.

Tabla 6: Estimación de intensidad energética eléctrica por subsector de la agroindustria (MWh/t)

Aceite	Congelados	Conservas	Deshidratado	Jugos
0,12	0,72	0,20	0,35	0,20

Fuente: elaboración propia basado en (Ideaconsultora, 2012) y (ODEPA, 2010-2018)

En la Tabla 7 se presenta la intensidad energética en términos térmicos, el cual ha sido estimada a partir de un estudio realizado a una muestra de 11 empresas en 2018. Cabe destacar la intensidad en el uso de vapor de las productoras de jugos (4,90 MWh/t) y deshidratados (5,03 MWh/t).

Tabla 7: Estimación de intensidad energética térmica por subsector de la agroindustria (MWh/t)

Aceite	Congelados	Conservas	Deshidratado	Jugos
7,34	0,05	1,36	5,03	4,9

Fuente: elaboración propia en base a estudio a 11 empresas

<sup>1</sup> Estimación basada en el consumo energético (Ideaconsultora, 2012) y en la producción calculada en base a los datos de exportaciones en volumen realizadas por el sector agroindustrial expuestas por la ODEPA en sus informes mensuales y a los porcentajes estimados de producción exportada (Ideaconsultora, 2012).



## 1.4 Potencial de eficiencia energética en la Agroindustria

La Eficiencia Energética (EE) es la optimización de la relación entre los productos obtenidos (ton/año) y la cantidad de energía utilizada en su producción (kWh/año), pudiéndose entender como acciones que apuntan a reducir el consumo de energía sin sacrificar el confort o la actividad económica a la que sirve.

Entre los beneficios que trae la EE a la Agroindustria, se encuentra un menor consumo energético, por lo tanto un menor gasto variable y menor consumo de otros recursos ligados al abastecimiento energético (combustibles, refrigerantes, lubricantes, etc.); flujos de caja menos sensibles a fluctuaciones en los precios de energía y combustibles; y mayor confiabilidad en los equipos (maquinaria), debido a que una buena implementación de medidas de eficiencia energética requiere de mantenimiento y control continuo.

El estudio de las oportunidades de eficiencia y gestión energética a nivel industrial debe ser técnica y económicamente exhaustivo y considerando los datos reales de la empresa. De esta forma existe certidumbre respecto a los ahorros potenciales de energía eléctrica y térmica, la reducción de costos asociados, el costo de implementación y el período de retorno de inversión.

En términos generales, el potencial de ahorro por medidas de eficiencia energética para el sector de la agroindustria se encuentra entre el 5 y el 50%, tal como se presenta en la tabla 8, no obstante, la factibilidad de generar una reducción del gasto energético dependerá de la realidad de la empresa. A partir de la caracterización energética realizada, fue posible establecer que la mayoría de las empresas visitadas poseían un potencial de disminución del gasto energético en torno al 10 y 30%, debido a las características propias existentes en cada una de ellas.

Tabla 8: Ahorros potenciales según acciones y nivel de inversión

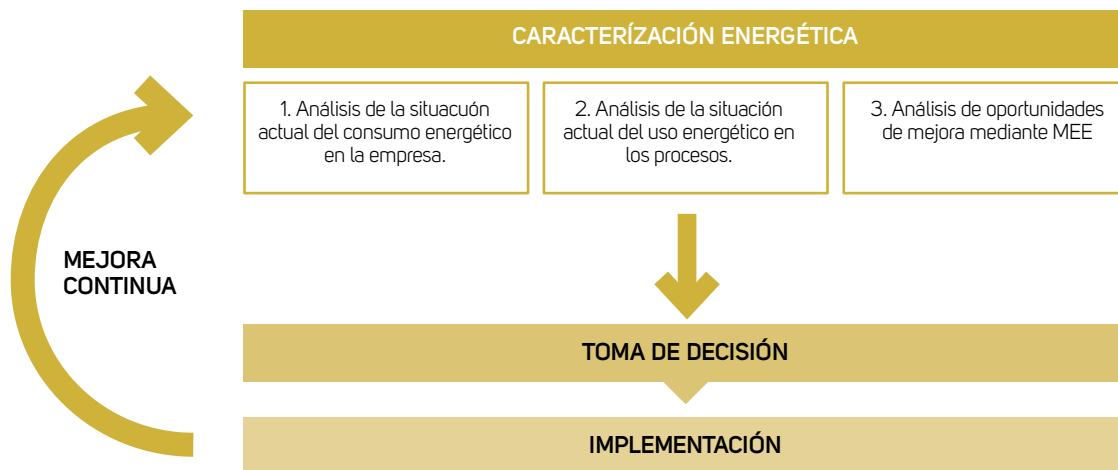
AHORRO POTENCIAL	NIVEL DE INVERSIÓN	DESCRIPCIÓN
5 a 15%	Sin costo de inversión. Acciones de mantenimiento.	Eliminar o reducir fugas de agua, vapor y aire comprimido, interruptores, iluminación, cambiar los "set up" de operación de algunos equipos, motores de alta eficiencia, recuperación de condensado de calderas.
15 a 30%	Bajos costos de inversión. Período de retorno menor a 5 años.	Aislación de cañerías, reducción de factor de potencia, recuperación de purgas de calderas, economizador en calderas, eficiencia de calderas y cocedores, evaporadores, recambio de iluminación, etc.
30 a 50%	Altos costos de inversión. Período de retorno superior a 5 años.	Aislación en calderas, cocedores, evaporadores, generación de biogás a partir de biomasa, cambio de equipos a alta eficiencia, sistemas de cogeneración a partir de biomasa o para satisfacer las cargas térmicas de calor o enfriamiento, autogeneración a partir de ERNC, etc.

Fuente: Adaptación a partir del Manual de Eficiencia energética, 2012

## 1.5 Metodología para caracterización energética

Para conocer el potencial de EE de vuestra empresa, es necesario primero ejecutar una caracterización o auditoría energética, con el fin de levantar de forma sistemática todos los antecedentes claves que determinan su consumo energético. Para ello, a continuación, se presenta la siguiente metodología:

Ilustración 2: Metodología para caracterización energética



Fuente: Elaboración propia en base a Cabezas (2016)



### 1. Análisis de la situación actual de la empresa en relación al consumo energético:

- Identificar las fuentes de energía utilizadas por la empresa, sus proveedores y tipos de contratos o convenios vigentes.
- Estudiar el consumo mensual y anual de energía, diferenciado por tipos de energía en sus unidades físicas (m<sup>3</sup>, litro, kg.) y en una unidad común (KWh o KJ).
- Estimar el costo energético anual diferenciado por tipos de energía.
- Establecer indicadores claves respecto del consumo y gasto energético, entre ellos: consumos específicos de electricidad y combustible (energía por unidad de producto físico), intensidad energética (cociente energía/ventas), gasto en energía / gasto total de producción, etc.

### 2. Análisis de la situación actual de la empresa, en relación al uso energético en los procesos:

- Considerar todos los sistemas, instalaciones y maquinarias relevantes consumidoras de energía en la empresa.
- Describir y caracterizar el uso de energía en los procesos productivos y auxiliares de la empresa.
- Elaborar diagramas de flujo de energía, en base a los planos de las instalaciones, layout de procesos y otros documentos relevantes existentes.
- Elaborar un balance de energía por usos, procesos y/o áreas que permita concluir sobre el desempeño energético de la empresa.
- Determinar los consumos y costos de energía de acuerdo a sus usos, procesos y/o áreas, mediante cálculos y/o mediciones y/o estimaciones.
- Definir y determinar indicadores de eficiencia energética relacionados a usos, procesos, áreas productivas y equipos relevantes de la empresa.
- Establecer los principales equipos e instalaciones que son relevantes para el consumo energético de la empresa, identificando tipo de energía utilizada, rendimiento, factores de carga, horas de funcionamiento.
- Identificar los factores que influyen en el consumo energético dentro de los usos y procesos energéticamente relevantes.
- Identificar ineficiencias, pérdidas y oportunidades.

### 3. Análisis de oportunidades de mejora mediante medidas de eficiencia energética (MEE):

- Determinar oportunidades de EE, de acuerdo a los siguientes 3 niveles. Primero se analiza la demanda final de energía consumida, luego se estudian las tecnologías utilizadas y finalmente las fuentes de energía. Este orden se debe a que es contraproducente realizar primero cambios en el suministro cuando la demanda total de energía va a ser reducida.
- Determinar inversiones y costos operacionales de cada MEE. Para cada una de ellas, se determina la inversión sin considerar el montaje ni la preparación de terreno en caso de ser necesario, es decir, se considera la compra de equipos principalmente. Además, se determinan los costos operacionales. La inversión y los costos operacionales se estiman mediante cotizaciones.
- Determinar el ahorro energético y monetario de cada MEE.
- Determinar el ahorro energético que se puede obtener para cada una de las MEE identificadas, de forma independiente. Si existe incertidumbre sobre el posible ahorro, ya que los factores que afectan al consumo de los equipos son variables, se recomienda realizar análisis considerando la situación más favorable, la menos favorable y una situación promedio. El ahorro monetario para cada MEE se determina con el precio específico, obtenido al observar las facturas del análisis del consumo energético, el cual se multiplica por el ahorro energético y un factor de conversión de unidades (cuando aplique).
- Realizar flujos de ahorros de cada medida, considerando la situación actual con MEE implementada.

Tras esta caracterización es factible la toma de decisiones de acuerdo al impacto esperado y a la evaluación económica de dicha MEE. Si estos indicadores son convenientes para los intereses de la organización, es factible implementar la medida, para luego volver a construir la misma caracterización, con el objeto de que la gestión energética sea un proceso continuo dentro de la empresa. Para esto último es imperativo la designación de al menos un encargado energético y un equipo de apoyo de ser posible.

## 2. Caracterización de consumo de energía por subsector

El análisis de las cuentas de energía está basado en estudios realizados a 11 empresas de la agroindustria de alimentos del Maule en 2018. Las cuentas de energía permiten determinar la línea base y tendencias en el uso de la energía.

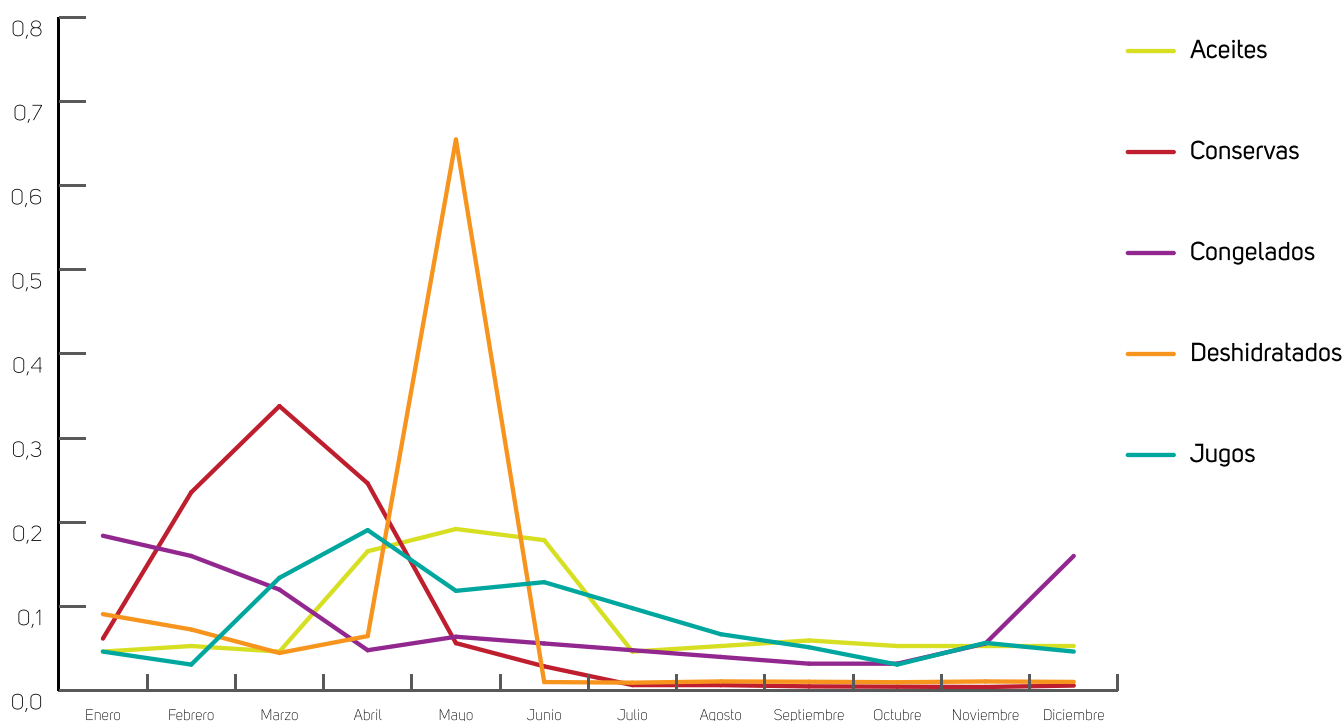
Los principales consumidores de energía eléctrica en las plantas agroindustriales estudiadas son motores, bombas, compresores y sistemas de refrigeración. La ventilación e iluminación conllevan un consumo proporcionalmente menor.

Los procesos industriales térmicos, tales como secadores, pasteurizadores y concentradores, requieren de vapor, el cual es generado en calderas de diversa índole y combustible. El subsector de congelados es el único que presenta menores consumos térmicos que eléctricos, debido a la demanda de la refrigeración. El consumo de agua caliente sanitaria es proporcionalmente menor en todos los subsectores.

## 2.1 Energía eléctrica

La energía eléctrica es un servicio fundamental para el funcionamiento de los cinco subsectores de la agroindustria del Maule, sin embargo, estos difieren en la magnitud de sus consumos. Las diferencias de consumo de energía eléctrica entre una planta grande y otra pequeña supera el 60%. Asimismo, se observa una diferencia entre los subsectores destacando el de congelados, el que es intensivo en enfriamiento, congelamiento y refrigeración.

Ilustración 3: Consumo eléctrico mensual porcentual por subsector en la agroindustria del Maule



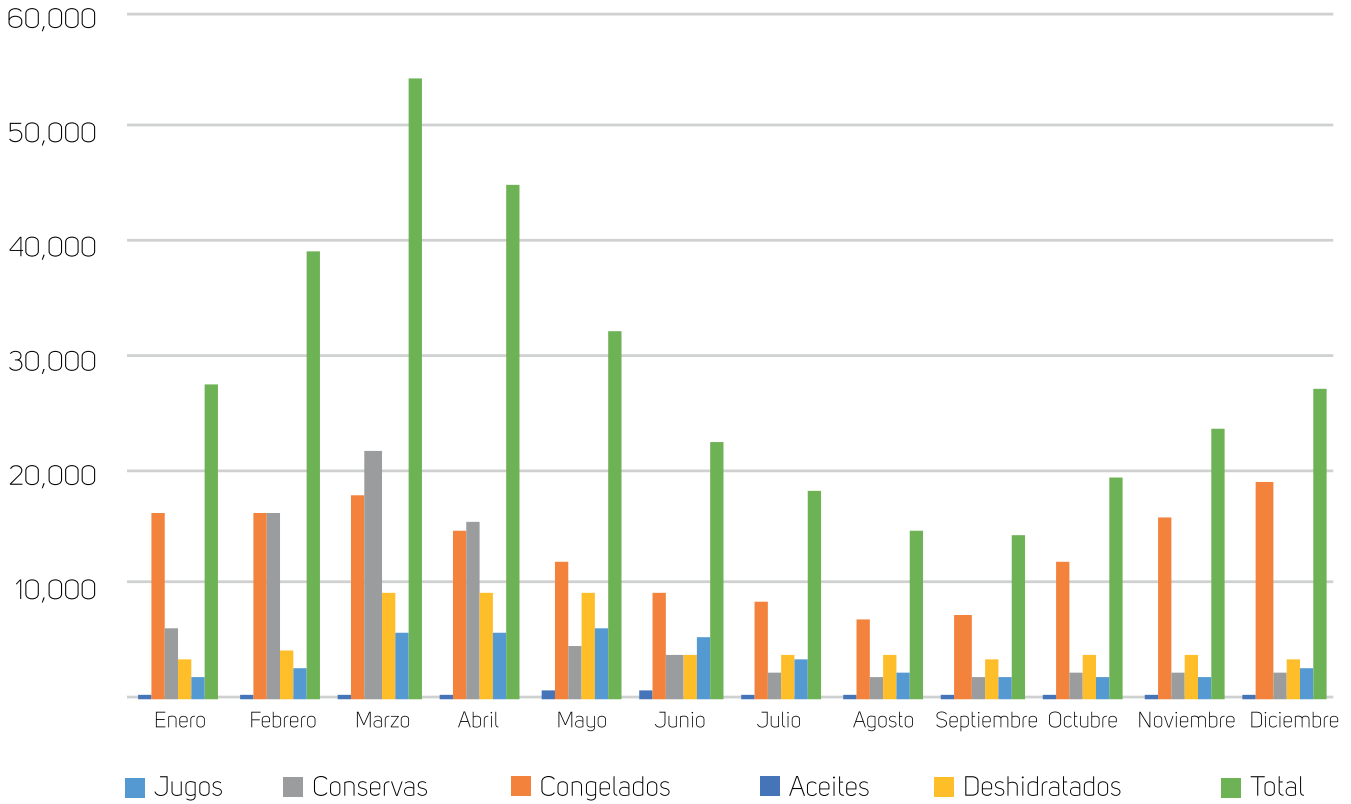
Fuente: Elaboración propia, en base a caracterización energética realizada.

Además de analizar el consumo energético total anual de una planta, también es necesario reconocer el perfil de consumo durante el año para entender que, en general, la agroindustria de alimentos procesados trabaja por temporadas, en las que existen grandes consumos en cortos períodos de tiempo de forma estacional, tal como se aprecia en la Ilustración 3, debiéndose este comportamiento a los tiempos de cosecha de frutas y hortalizas. Notar que el consumo eléctrico mensual se presenta en términos porcentuales, donde 100% es el consumo anual.

En 2010 aproximadamente 337 GWh de energía eléctrica fueron consumidos por los cinco subsectores agroindustriales a nivel nacional (Ideaconsultora 2012). En la ilustración 4 se observa el consumo mensual eléctrico para la agroindustria, en donde se observa una clara estacionalidad. Esta estacionalidad afecta el gasto en electricidad por cuanto se exhibe una fracción importante de producción (43,5%) en el periodo de punta (abril-septiembre). Lo anterior es particularmente relevante en los subsectores aceite, jugos y deshidratados, en donde 77%, 60%, y 54% de la producción total correspondiente se concentra en periodo punta.

Toda vez que el consumo leído en punta afecta el precio total de la energía eléctrica, las empresas deben introducir medidas para evitar el consumo en punta, tales como la autogeneración y la desactivación de cargas importantes en dicho horario.

Ilustración 4: Estimación del consumo de electricidad en MWh en la agroindustria nacional por mes año 2010



Fuente: Elaboración propia en base a (ideaconsultora, 2012)

Tabla 9: Estimación del consumo de energía eléctrica (MWh) en la agroindustria años 2011 a 2018

AÑO	ACEITE	CONGELADOS	CONSERVAS	DESHIDRATADO	JUGOS	TOTAL
2011	5.732	215.447	106.954	63.621	57.309	449.063
2012	4.450	178.887	90.728	59.075	43.590	376.729
2013	6.061	161.625	92.819	67.882	45.133	373.520
2014	6.262	168.108	88.942	58.762	47.079	369.154
2015	6.082	164.500	87.756	58.832	54.734	371.904
2016	8.437	170.000	81.898	57.130	49.479	366.945
2017	6.245	173.133	92.362	56.552	50.520	378.811
2018	7.754	172.079	100.518	58.043	43.551	381.945

Fuente: Elaboración propia

Al igual que la disparidad que se observa en la estacionalidad del consumo, el crecimiento en el consumo eléctrico registra diversos niveles de acuerdo con el subsector. En la Tabla 9 se realiza una estimación del consumo eléctrico a nivel nacional por cada subsector agroindustrial desde el año 2011 al año 2018<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Estimación basada en el consumo energético (Ideaconsultora, 2012) y base a los datos de exportaciones en volumen realizadas por el sector agroindustrial expuestas por la ODEPA en sus informes mensuales.



Las empresas, de acuerdo a su potencia instalada, serán clientes libres o clientes regulados. En el caso de los clientes libres, el precio por MWh es reservado para que las negociaciones entre los clientes y distribuidores no se vean afectadas por acuerdos anteriores. No obstante, se estima que actualmente y hasta 2022 los contratos de clientes libres tendrán tarifas en promedio 20% más bajas que los clientes regulados. El valor de la energía se sitúa hoy en torno a los 60 USD/MWh, más los correspondientes cargos por transmisión y potencia (Electricidad, 2017). Esta situación es diametralmente distinta a lo que ocurría hace 8 años atrás, en que el precio regulado era 30% más bajo que aquel obtenido por clientes libres. Es preciso señalar, que para poder tener un trato como cliente libre se debe tener una potencia conectada de al menos 500 kW y debe solicitarse el cambio con un año de anticipación, para luego permanecer cuatro años como mínimo en el régimen correspondiente. Este trámite debe ser gestionado en su empresa distribuidora y la negociación puede ser realizada directamente con los oferentes.

A la fecha existen 2.611 clientes libres en Chile, de los cuales

6 corresponden a empresas agroindustriales de la región del Maule. Para el año 2018, según los registros del coordinador eléctrico nacional, al menos 14 empresas agroindustriales "del Maule" del sector de congelados, deshidratados, jugos, conservas o aceites se encuentran en postulación para acceder a tarifas como clientes libres. (Energía Abierta, 2018)

En el contexto de clientes regulados, la Tabla 9 muestra las tarifas de suministro eléctrico para clientes de la compañía CGE, distribuidora dominante en la Región, desde el año 2015 al año 2018.

Dentro de las empresas del sector agroindustrial del Maule, es posible caracterizar sus tarifas eléctricas dentro de dos grupos tarifarios, de acuerdo al tamaño de la empresa: la tarifa AT4.3 para las grandes y BT4.3 para las medianas y pequeñas. La diferencia entre ellas corresponde a la forma de medición, el nivel de tensión (alta o baja) y la propiedad del transformador. Para ambos casos, en estas tarifas, se realiza una medición de la energía total consumida, la demanda máxima de potencia en horas punta y de la demanda máxima de potencia suministrada.

Tabla 10: Tarifas eléctricas promedio en Región del Maule desde el año 2015 al 2018

AÑO	ACEITE	CONGELADOS	CONSERVAS	DESHIDRATADO	JUGOS	TOTAL
2011	5.732	215.447	106.954	63.621	57.309	449.063
2012	4.450	178.887	90.728	59.075	43.590	376.729
2013	6.061	161.625	92.819	67.882	45.133	373.520
2014	6.262	168.108	88.942	58.762	47.079	369.154
2015	6.082	164.500	87.756	58.832	54.734	371.904
2016	8.437	170.000	81.898	57.130	49.479	366.945
2017	6.245	173.133	92.362	56.552	50.520	378.811
2018	7.754	172.079	100.518	58.043	43.551	381.945

En la Tabla 10 se puede observar que el precio de la energía en tarifa BT1 (tarifa residencial) tiene un valor promedio un 70% mayor que las otras tarifas BT (baja tensión), y es en promedio 81% más alta que las tarifas AT (alta tensión). Lo anterior representa una gran desventaja competitiva para los productores más pequeños especialmente en los sectores de más intensidad energética.

Fuente: Elaboración propia en base a (CGE, 2018)

Este tipo de tarificación posee cuatro conceptos de cobro:

- Cargo fijo [\$/cliente]: cobro mensual e independiente a la existencia de consumo durante el período.
- Energía [\$/kWh]: cantidad de energía consumida en el periodo, se obtiene multiplicando dicha cantidad por su precio unitario.
- Demanda máxima de potencia suministrada [\$/kW/mes]: se obtiene multiplicando el promedio de las dos más altas demandas máximas registradas en los últimos 12 meses, incluido el mes que se facture, por el precio unitario de la energía.
- Demanda máxima de potencia leída en horas punta [\$/kW/mes]: en meses con hora punta, se obtiene multiplicando la demanda máxima en horas de punta efectivamente leída en cada mes, por el precio unitario correspondiente. En meses sin hora punta, se obtiene multiplicando el promedio de las dos mayores demandas máximas en horas punta, registradas durante los meses del período de punta inmediatamente anteriores, por el precio unitario correspondiente.

El consumo de energía está directamente relacionado con el nivel de producción, sin embargo, los cargos por potencia demandada y potencia en hora punta pueden distorsionar el gasto eléctrico, independiente de la energía consumida.

## 2.2 Energía térmica

La energía térmica proviene de distintas fuentes. Los combustibles utilizados con mayor frecuencia son gas licuado, fuel oil N°6, carbón y leña. Por lo general, las calderas son operadas por las mismas empresas, sin embargo, en algunos casos el vapor es suministrado por un tercer prestador del servicio. Los precios presentados en el Capítulo 1 son referentes al combustible, mientras que, para poder comparar los distintos sistemas de producción de energía térmica, es necesario considerar los costos finales de producción de ésta. Los costos correspondientes se muestran en la Tabla 11.

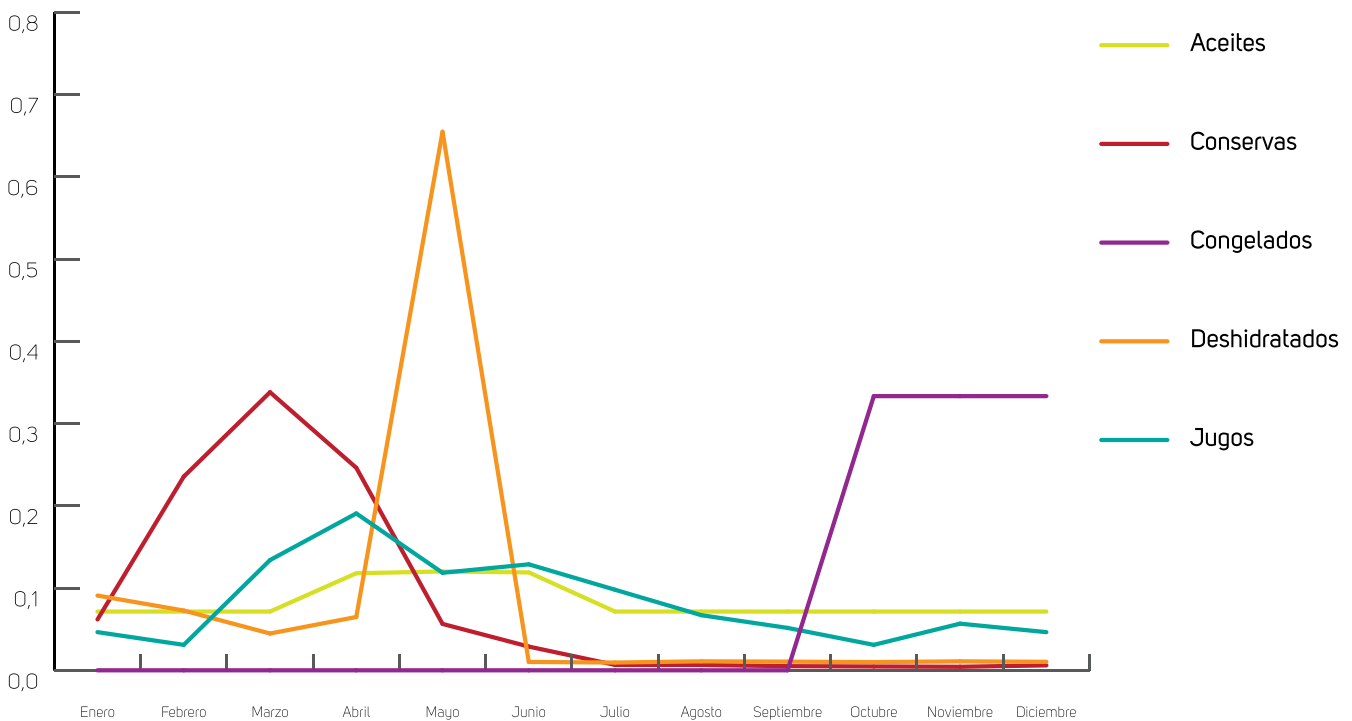
El uso de energía térmica y su magnitud están directamente relacionados con los niveles de producción, por lo tanto, el consumo varía de acuerdo a la estación asociada a la post-cosecha de frutas y hortalizas, tal como se aprecia en la Ilustración 5. En este caso, el consumo estacional no tiene repercusiones en la tarifa o costo de la energía térmica, el cual más bien varía con el precio de los combustibles.

Tabla 11: Costo de generación de energía térmica según tipo de combustible

COMBUSTIBLE	\$/KCAL (SIN IVA)	USD/MWH
Gas licuado	0,051	69,945
Gas natural	0,040	54,630
Fuel oil N6	0,034	46,477
Pellet	0,028	38,256
Carbón externalizado	0,026	35,509
Carbón internalizado	0,015	20,486
Leña	0,020	26,997
Solar térmica	0,021	28,275
Astillas H 25%	0,021	28,275

Elaboración propia en base a entrevistas, considerando el poder calorífico inferior de cada combustible.

Ilustración 5: Consumo de energía térmica mensual porcentual por subsector en la agroindustria del Maule.



Fuente: Elaboración propia, en base a caracterización energética realizada.

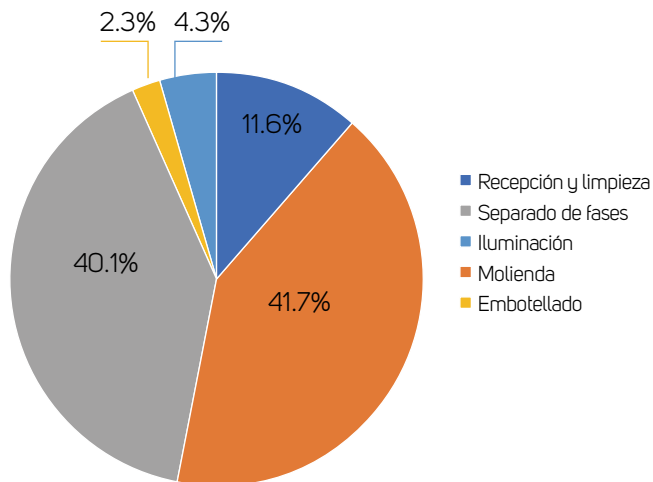
## 2.3 Distribución del consumo eléctrico en cada subsector

Identificar como se distribuye el consumo eléctrico dentro de los procesos y entre los consumidores eléctricos, es clave para poder decidir a priori las áreas con un mayor consumo de energía, de manera de priorizar los esfuerzos en la búsqueda de proyectos de eficiencia energética que posean un impacto significativo en la empresa. Para esto, y en base a las 11 caracterizaciones energéticas realizadas en la agroindustria del Maule, se presenta a continuación la distribución de este consumo eléctrico en pequeñas y grandes empresas de los 5 subsectores agroindustriales.

### 2.3.1 Distribución del consumo eléctrico en el subsector del aceite de oliva

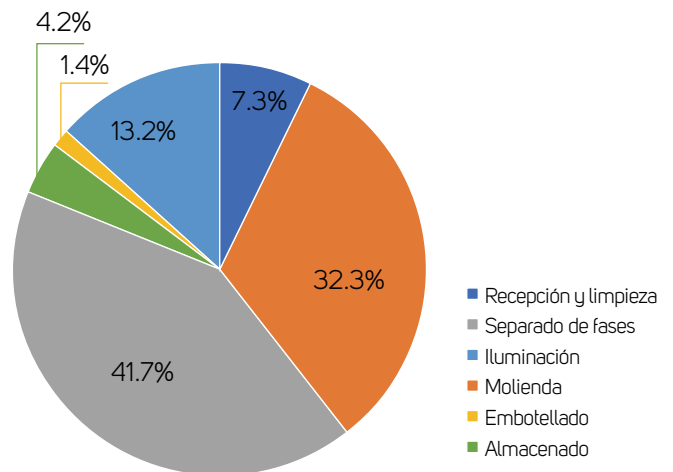
Al estudiar la distribución del consumo eléctrico en empresas de aceite de oliva tal como se presenta en la Ilustración 6 e Ilustración 7, es posible indicar que los procesos de separación de fases y de molienda corresponden a los que mayor requerimiento eléctrico poseen, característica presente tanto en pequeñas como en grandes empresas. Esto debido a que dichos procesos, se caracterizan por un alto uso de bombas de circulación entre los procesos y motores para la molienda.

Ilustración 6: Consumo eléctrico - Pequeña empresa de aceite de oliva



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 7: Consumo eléctrico - gran empresa de aceite de oliva

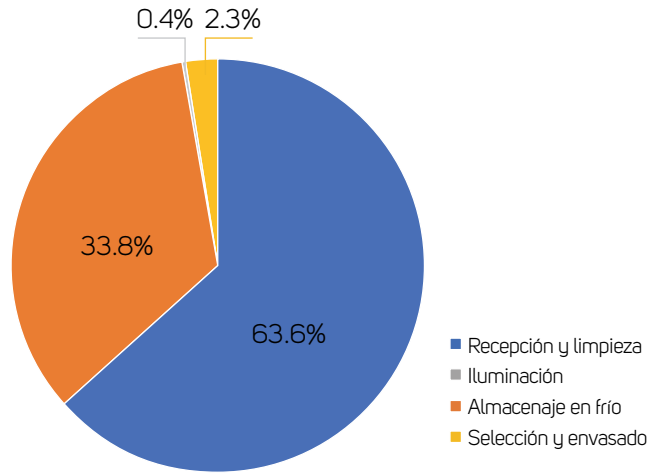


Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

### 2.3.2 Distribución del consumo eléctrico en el subsector de congelados

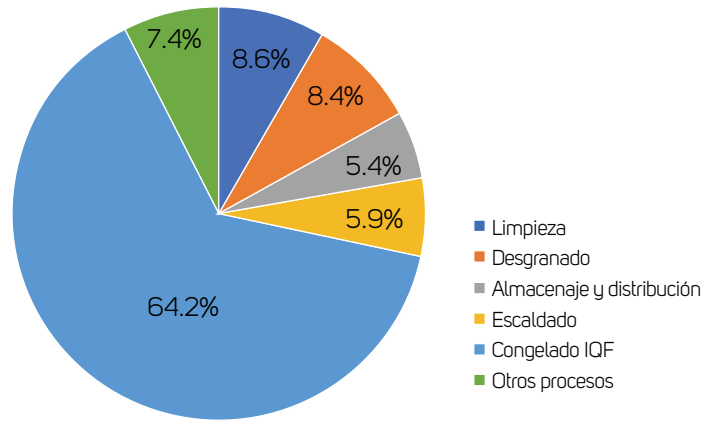
El subsector de congelados corresponde a uno de los principales consumidores eléctricos, independiente del tamaño de la empresa. Al analizar la distribución del consumo eléctrico en empresas del rubro, tal como se aprecia en la Ilustración 8 e Ilustración 9, se observan diferencias entre las etapas en la que se utiliza intensivamente energía eléctrica de acuerdo a la tecnología implementada. En el caso de pequeñas empresas, el requerimiento eléctrico se presenta mayoritariamente en la recepción y almacenaje de la materia prima en las llamadas "cámaras 0" previo a que el producto ingrese al proceso, mientras que en las grandes empresas se centra en el final de la línea de proceso con el congelado IQF, tecnología que permite asegurar la inocuidad y calidad del producto que llega al consumidor final.

Ilustración 8: Consumo eléctrico - Pequeña empresa de congelados



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 9: Consumo eléctrico - gran empresa de congelados

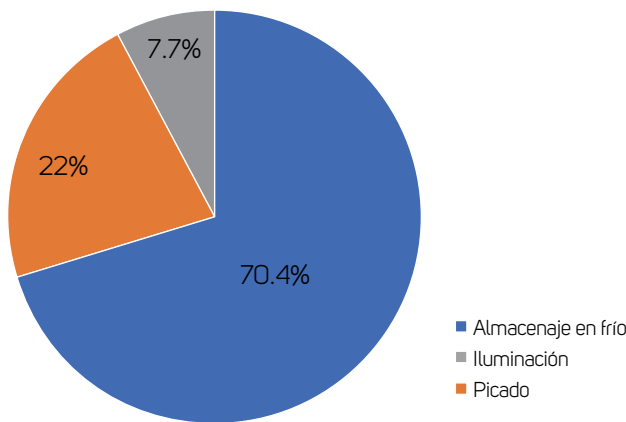


Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

### 2.3.3 Distribución del consumo eléctrico en el subsector de conservas

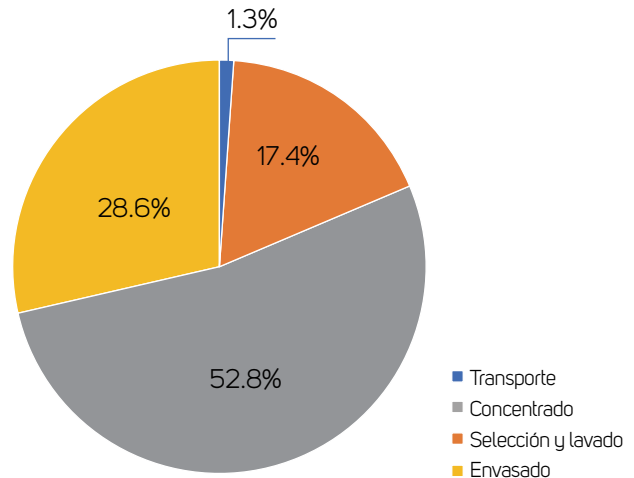
En el subsector de las conservas, debido al amplio espectro de productos que incluye, desde las pastas y pulpas hasta las conservas de fruta, existe una gran variedad de perfiles de consumo. Situación reflejada en la Ilustración 10 y la Ilustración 11, las cuales muestran gran disimilitud en sus requerimientos de energía eléctrica.

Ilustración 10: Consumo eléctrico - Pequeña empresa de conservas



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 11: Consumo eléctrico - gran empresa de conservas



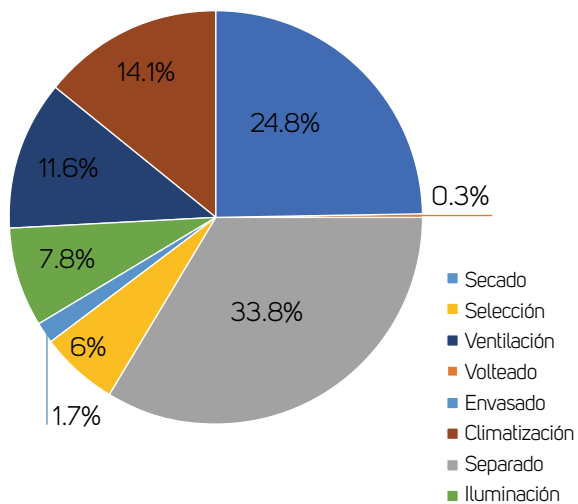
Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética



### 2.3.4 Distribución del consumo eléctrico en el subsector de deshidratados

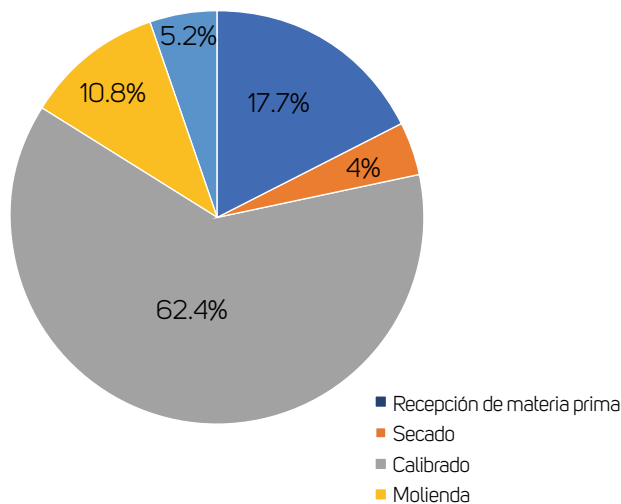
Al igual que en las conservas, en el caso de los deshidratados es posible identificar diferentes perfiles de consumo eléctrico de acuerdo al producto procesado. No obstante, al analizar la distribución del consumo eléctrico se observa que, tanto para las grandes como en las pequeñas empresas, la separación (o calibrado), corresponde a una de las actividades con mayor requerimiento eléctrico. Lo anterior debido a la importancia de deshidratar productos con determinadas características.

Ilustración 12: Consumo eléctrico - Pequeña empresa de deshidratado



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 13: Consumo eléctrico - gran empresa de deshidratado

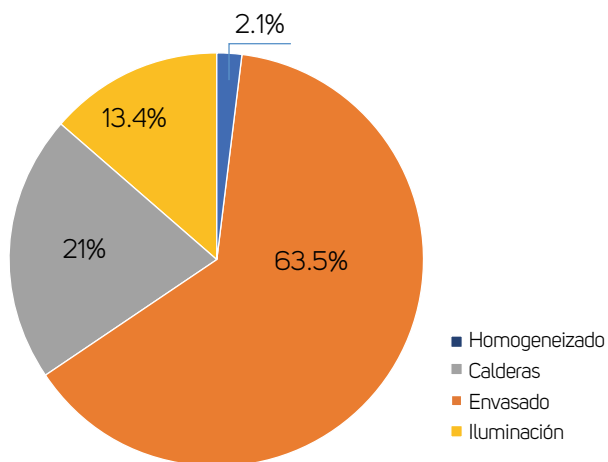


Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

### 2.3.5 Distribución del consumo eléctrico en el subsector de Jugos

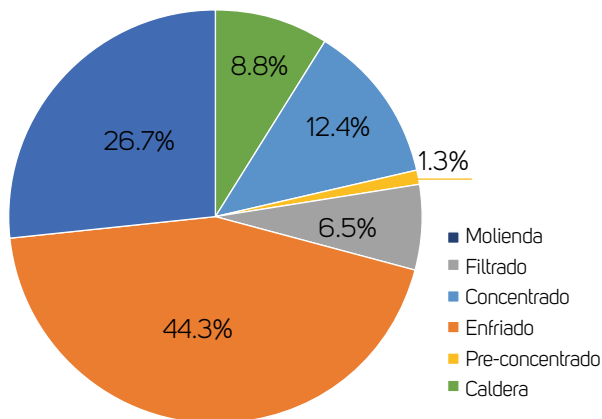
Al estudiar la distribución del consumo eléctrico en empresas de jugo tal como se presenta en la Ilustración 14 y la Ilustración 15, es posible identificar la influencia del producto y de la tecnología utilizada en el perfil de consumo. Los altos niveles de producción de las grandes empresas, requieren un intensivo uso eléctrico de forma transversal a la línea de proceso, en cambio una pequeña empresa, puede requerir un uso intensivo solo en etapas particulares automatizadas como lo es el envasado.

Ilustración 14: Consumo eléctrico - Pequeña empresa de jugos



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 15: Consumo eléctrico - gran empresa de jugos



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética







## 2.4 Distribución del consumo térmico en cada subsector

Al igual que el caso eléctrico, identificar cómo se distribuye el consumo térmico dentro de los procesos y entre los consumidores, permitirá decidir las áreas con un mayor consumo energético, de manera de privilegiar los proyectos de eficiencia energética que posean un impacto significativo en la empresa. En base a las 11 caracterizaciones energéticas realizadas en la agroindustria del Maule, se presenta a continuación la distribución de este consumo en pequeñas y grandes empresas de los 5 subsectores agroindustriales.

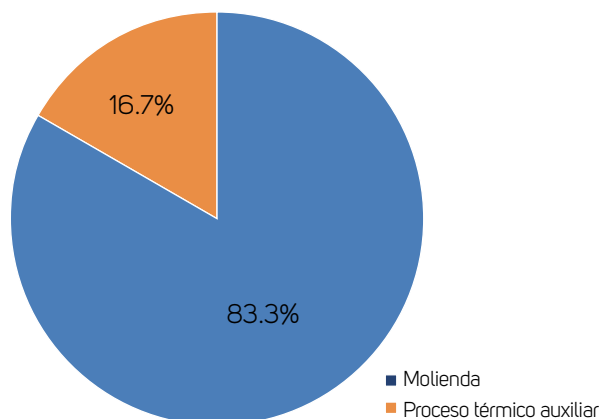
### 2.4.1 Distribución del consumo térmico en el subsector de congelados

El consumo térmico utilizado en empresas de congelados se centra únicamente en el proceso de escaldado y en ocasiones, como ACS (agua caliente sanitaria) de baja temperatura para el uso humano. Esta situación se debe a que este proceso permite que el alimento endurezca sus tejidos, se eliminen impurezas y se facilite su pelado, pudiendo entregar un producto congelado apto para el consumo humano.

### 2.4.2 Distribución del consumo térmico en el subsector del aceite de oliva

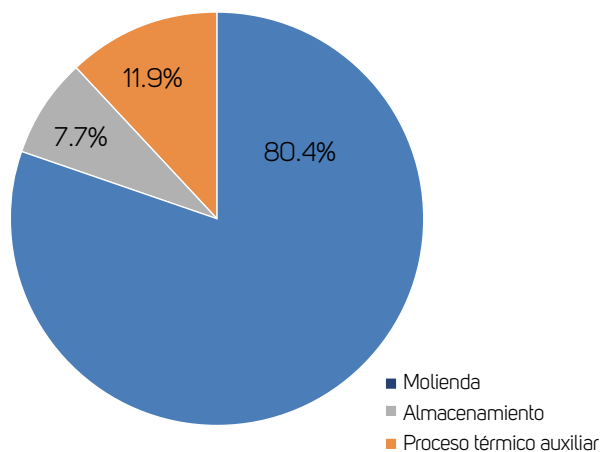
Al estudiar la distribución del consumo térmico en empresas de aceite de oliva, como se muestra en la Ilustración 16 y la Ilustración 17, se aprecia que el proceso de molienda corresponde al que requiere una mayor utilización de energía térmica en ambos casos de estudio. Esto dado que es en esta etapa donde se hace uso del agua caliente para calentar la pasta obtenida al moler la aceituna.

Ilustración 16: Consumo térmico - Pequeña empresa de aceite de oliva



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 17: Consumo térmico - gran empresa de aceite de oliva



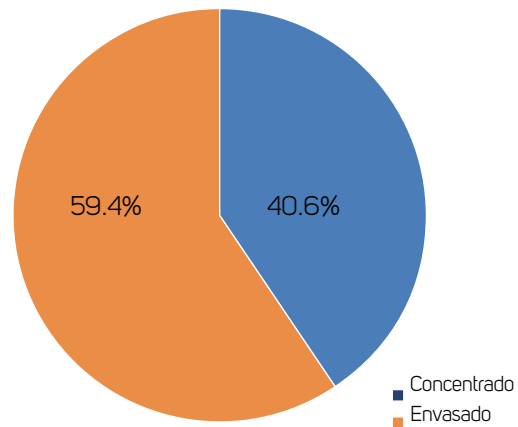
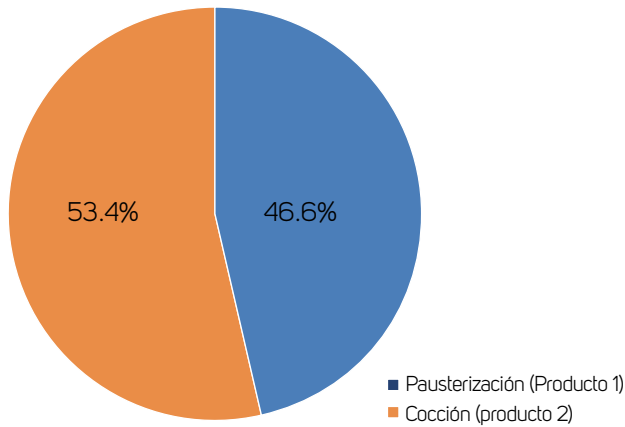
Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

### 2.4.3 Distribución del consumo térmico en el subsector de conservas

Al igual que en el caso eléctrico, para las conservas, el consumo térmico dependerá del producto elaborado.

Ilustración 18: Consumo térmico - Pequeña empresa de conservas

Ilustración 19: Consumo térmico - gran empresa de conservas



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

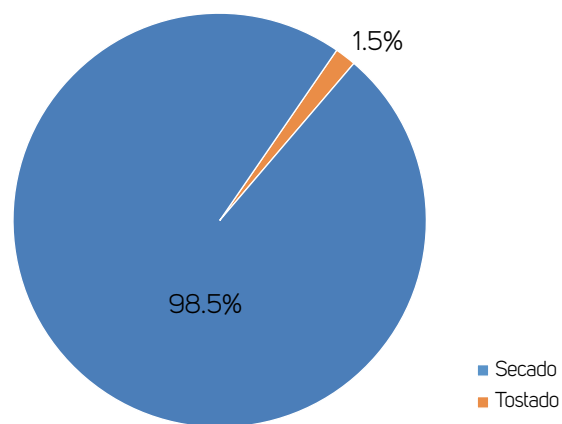
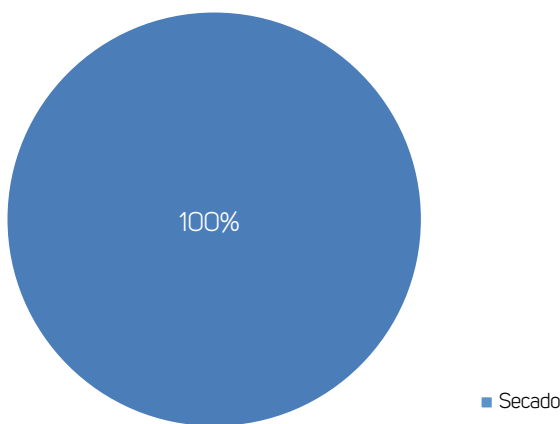
Por ejemplo, en las conservas de fruta en almíbar, solo es requerido un proceso de pasteurización, sin embargo, cuando se desea obtener pastas o pulpas se incorporan procesos de cocción o concentración.

### 2.4.4 Distribución del consumo térmico en el subsector de deshidratados

Al estudiar cómo es la distribución en el consumo de energía térmica en empresas de deshidratado, es posible apreciar que en ambos casos el proceso de secado es el que requiere esencialmente dicha energía. Esto se debe a que es en esta etapa donde el agua es retirada del alimento con el fin de obtener el producto deshidratado. Dicha distribución puede incorporar nuevos consumidores en los procesos en los que se les da un valor agregado al producto deshidratado mediante la elaboración de subproductos.

Ilustración 20: Consumo térmico - Pequeña empresa de deshidratado

Ilustración 21: Consumo térmico - gran empresa de deshidratado



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

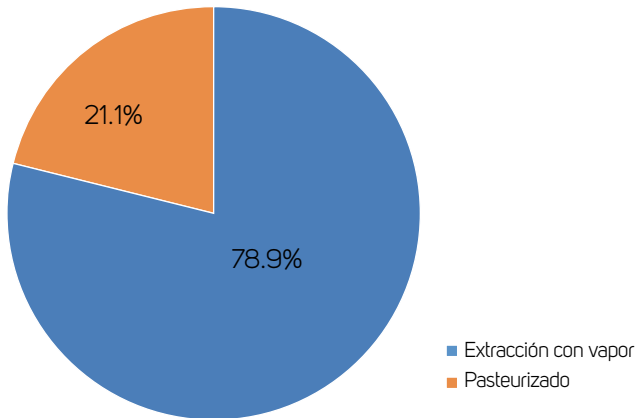
Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética



## 2.4.5 Distribución del consumo térmico en el subsector de Jugos

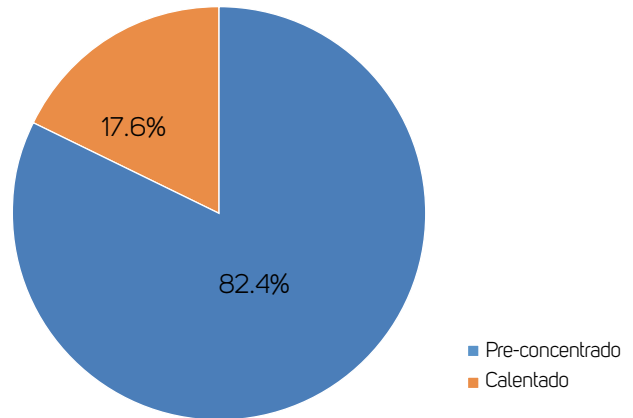
Para el caso de los jugos, el consumo de energía térmica, tanto para pequeñas como grandes empresas, posee una distribución similar a sus requerimientos eléctricos. Por un lado, el pasteurizado y el calentado, cuya finalidad es eliminar los agentes patógenos, ronda el 20% de participación en el consumo térmico, mientras que la extracción con vapor y el pre-concentrado, que pueden considerarse como un proceso de concentrado, presenta valores cercanos al 80% del consumo térmico.

Ilustración 22: Consumo térmico - Pequeña empresa de jugos



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 23: Consumo térmico - gran empresa de jugos



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética



### 3. Áreas potenciales de eficiencia energética y energía renovable

## — 3.1 Motores

La selección del motor debe compatibilizar el voltaje indicado en la placa y el entregado por la red, y ser acorde al requerimiento o bien, de una potencia levemente superior.

Al seleccionar motores se debe tener en cuenta:

1. Los requerimientos mecánicos de la carga a ser movida
2. La clasificación del motor
3. El sistema de distribución eléctrica
4. Consideraciones físicas y ambientales

Los motores trifásicos son diseñados para operar con variaciones de voltaje  $\pm 10\%$ , de lo contrario su eficiencia y factor de potencia decrecen.

- Los motores tienen un factor de potencia y una eficiencia relativamente constante hasta aproximadamente 50 % de la carga completa (dentro de  $\pm 5\%$ ), luego el factor de potencia y la eficiencia se degradan rápidamente.
- Los motores más grandes suelen ser más eficientes que los motores más pequeños.
- La instalación de variadores de frecuencia (VSD por sus

siglas en inglés) puede inducir armónicos en el sistema de distribución. Un sistema con muchos condensadores instalados puede ser particularmente vulnerable a menos que sea "sintonizado" por un profesional. Algunas instalaciones son relativamente insensibles; otras son muy sensibles a este problema. Tenga especial cuidado si una instalación ya ha experimentado problemas de calidad de energía, tales como fallas en el equipo, fallas en computadoras, fallas inusuales en motores o balastos, transformadores o condensadores sobrecalentados, corrientes neutras altas de 3 fases o voltaje neutro a tierra significativo. También tenga cuidado en instalaciones con cargas rectificadoras pesadas tales como: equipos de carga o hornos de inducción, o una computadora importante u otras cargas electrónicas.

- Los VSD pueden sobrecalentar los motores existentes. Hay tres tipos de VSD: Inversor de fuente de voltaje (VSI), inversor de fuente de corriente (CSI) y modulación de ancho de pulso (PWM).



### 3.1.1 Reemplazo de motores estándar con motores de alta eficiencia.

Si bien el reemplazo surge como solución lógica al identificar motores estándar de baja eficiencia en operación, en ocasiones no es económico reemplazarlos inmediatamente por motores nuevos más eficientes. En tales casos, es una estrategia útil marcarlos, dejando claro que se debe usar un motor más eficiente cuando se requiera su reemplazo por otros motivos.

- Para motores de 5 a 30 HP, estimar un aumento del 5% al 3,5% en la eficiencia.
- Para motores de 40 a 125 HP, estimar un aumento del 3,5% al 3% en la eficiencia.
- Para motores de 150 HP y superiores, se estima un aumento del 2% en la eficiencia. El ahorro anual en costos de energía se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$ES = 0,746 \times H_p \times \%L \times N \times C \times \left[ \frac{1}{E_{\text{StdEff}}} - \frac{1}{E_{\text{HighEff}}} \right]$$

ES = Ahorro anual(\$/año)

H<sub>p</sub> = Potencia del motor

%L = Porcentaje de carga del motor

N = Horas de operación anuales a esta carga

C = Costo de electricidad (\$/kWh)

E<sub>StdEff</sub> = Eficiencia estándar (adimensional)

E<sub>HighEff</sub> = Eficiencia alta o premium (adimensional)

Las siguientes tablas se pueden usar para estimar los costos y eficiencias del motor.

Para ello se utiliza la clasificación dada por la norma IEC 60034-30, donde:

- IE1: eficiencia estándar
- IE2: alta eficiencia
- IE3: eficiencia premium

Tabla 12: Características de motores

POTENCIA DEL MOTOR (HP)	PRECIO DEL MOTOR ESTÁNDAR POR POTENCIA (\$/HP)	PRECIO PARA MOTOR DE ALTA EFICIENCIA POR POTENCIA (\$/HP)	AUMENTO EN LA EFICIENCIA
5-10	55.000-70.000	130.000-200.000	5,0% -3,5%
15-30	55.000-60.000	100.000-150.000	igual que el anterior
40-125	Igual que el anterior	igual que el anterior	3,5% -3,0%
150-300	Igual que el anterior	Igual que el anterior	2,0%

Fuente: Elaboración propia en base a Motor selection (2018)

Tabla 13: Potencia consumida en motores de distinta eficiencia

Potencia nominal (kW)	POTENCIA CONSUMIDA KW		
	IE1 (kW)	IE2 (kW)	IE3 (kW)
0,75	1,4	1,2	1,1
3	4,4	4,1	3,9
15	18,8	18,1	17,3
30	35,8	34,7	33,8

Fuente: Elaboración propia en base a Motor selection (2018)

Tabla 14: Precio de motores referenciales de acuerdo potencia y eficiencia

POTENCIA NOMINAL KW	\$	TIPO DE EFICIENCIA
0,75	128.000	IE3
2,2	228.000	IE3
11	745.000	IE2
18,5	1.015.000	IE2

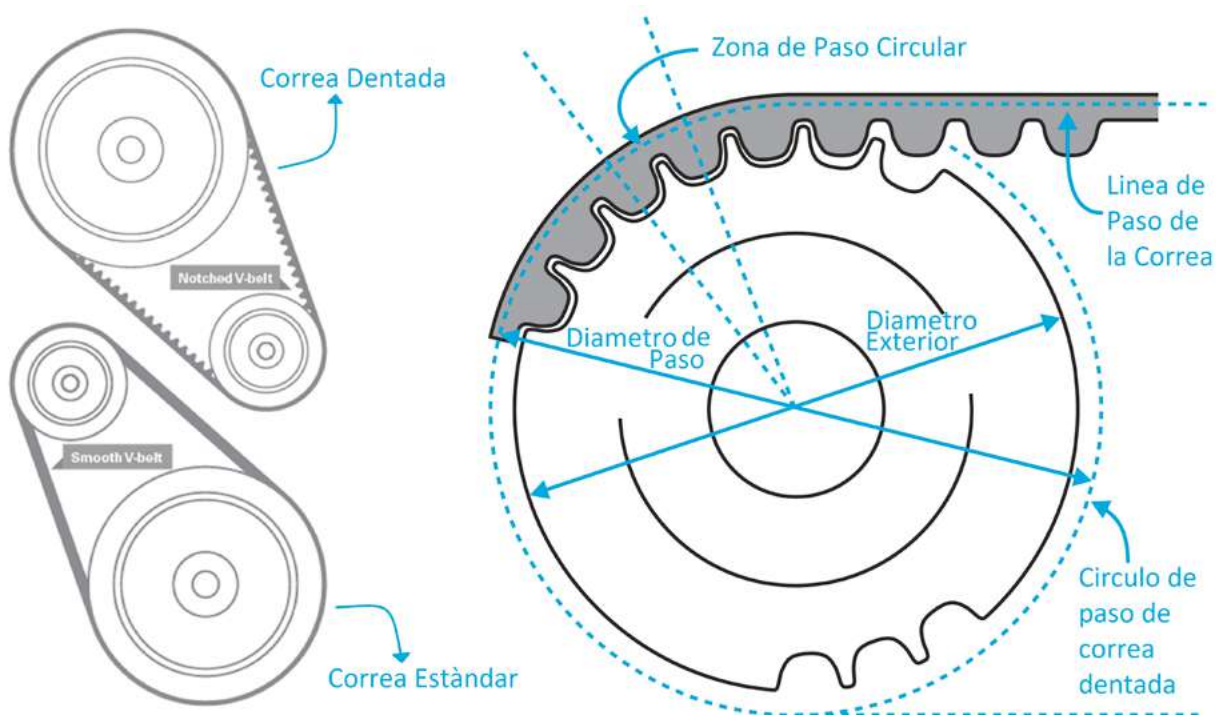
Fuente: Elaboración propia en base a Motor selection (2018)



### 3.1.2 Reemplazo de correas trapezoidales estándar por correas dentadas.

- El reemplazo de correas trapezoidales estándar por correas dentadas en el radio interior de la correa reduce la pérdida de energía y la generación de calor causada por la compresión y descompresión de la correa a medida que se arquea alrededor de la polea. Estimación: aumento del 2 % en la eficiencia. El aumento leve del costo de las correas en V dentadas se compensa con una mayor esperanza de vida.
- También pueden reemplazarse las correas HTD (alto torque) en conjunto con las poleas porque los dientes en la correa se engranan con una polea apropiada. Estimación: aumento del 4-8 % en la eficiencia [5 %].

Ilustración 24: tipos de correa y eje de giro



Motor selection (2018)

### 3.1.3 Reducción del tiempo de operación del equipo al mínimo requerido

- Apague el equipo durante el almuerzo, descansos, y cuando no se requiera. Esta medida será confiable en la medida que el operador también lo sea.
- Use dispositivos para encendido por bloques (interlock). Si un equipo en particular está dedicado a un proceso específico que requiere equipo(s) adicional(es), todos pueden estar interrelacionados, de modo que todos se desactiven cuando el operador apague uno de los equipos.
- Opere el equipo por lotes cuando es posible y luego apáguelo.

Un equipo como un molino puede funcionar continuamente, aunque el material solo lo atraviesa ocasionalmente. Un enfoque alternativo sin costo de instalación es permitir que el material se recolecte y asignarle a alguien que lo encienda periódicamente para procesar el material en lotes.

Ante esta solución hay que tener en cuenta que, si la reco-

lección de material no se supervisa, la bandeja de recolección puede desbordarse y requerir limpieza. Problemas de atascos también podrían desarrollarse.

El procesamiento por lotes también puede aumentar la carga del equipo por sobre lo recomendado.

- Instale temporizadores, sensores de nivel, sensores de material u otros controles para el funcionamiento automático o apague el equipo según sea necesario.

Por ejemplo: instale el sensor de material y el temporizador en el equipo, como un molino, configúrelo para que se encienda con la acumulación de material y apague después del tiempo de inactividad permitido.

Se debe tener cuidado para evitar la creación de un peligro para la seguridad.

### 3.1.4 Implementación de variadores de frecuencia.

Los variadores de frecuencia aumentan la eficiencia y proporcionan un arranque suave del equipo. Lo mismo puede ser logrado con un motor de corriente continua (CC), pero con una menor eficiencia, aunque esta desventaja se puede compensar al implementar frenos regenerativos en equipos pesados para recuperar energía. Los embragues de corriente.

- Estimación: 25% de aumento de eficiencia en implementación de variadores de frecuencia en motores de corriente alterna
- Estimación: 20% de aumento de eficiencia al usar motores CC con regeneración.

### 3.1.5 Reemplazo de motores sobredimensionados

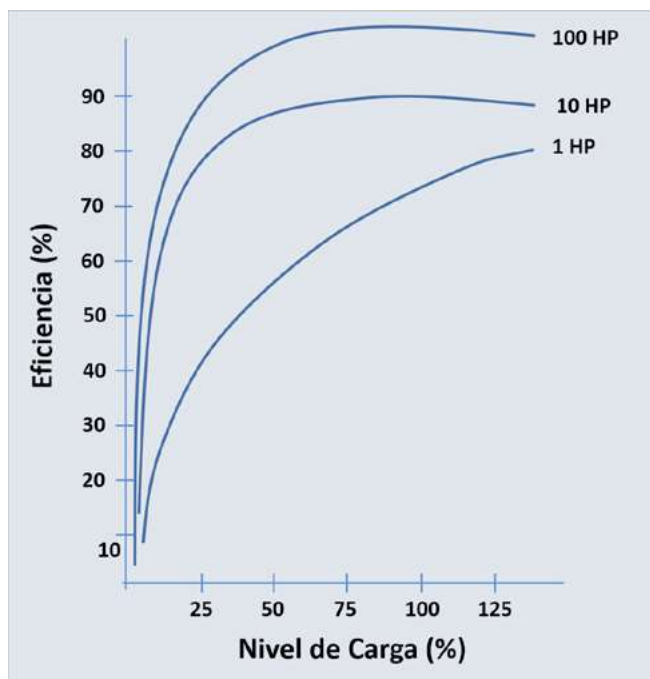
Los motores de inducción no deben ser excesivamente grandes (<50% de carga) ya que el costo inicial y los costos de energía son mayores y el factor de potencia y la eficiencia son más bajos.

Antes de reducir el tamaño de un motor, verifique que no se exponga a cargas más allá de su capacidad.

Es común que en la industria se actualicen los motores por otros de mayor capacidad. Si un motor del mismo tamaño no está disponible, se suele instalar el siguiente en tamaño superior, solo para estar seguro. Esto puede llevar a ineficiencias.

Los motores consumen la menor cantidad de energía cuando funcionan con la máxima eficiencia. Para la mayoría de los motores, esto es del 75% al 110% de su carga nominal. A medida que la carga del motor cae por debajo del 50%, la eficiencia y el factor de potencia disminuyen rápidamente. El impacto en los motores más grandes (superiores a 50 HP) es menor.

Ilustración 25: Eficiencia en motores



Para determinar la carga del motor es preferible medir la potencia (kW) por sobre las lecturas de amperaje, porque las lecturas de potencia tienen en cuenta los cambios que ocurren en el factor de potencia y en el amperaje a medida que cambia la carga del motor. Un sobredimensionamiento leve de un motor se considera una buena práctica de la ingeniería por las siguientes razones:

- Para permitir un aumento en la producción
- Para acomodar las fluctuaciones y sobrecargas de la carga
- Para acomodar el aumento de carga a medida que la carga impulsada se desgasta
- Para aumentar la vida útil del motor debido a las bajas temperaturas de bobinado.

Dimensionar un motor para operar al 75% de la carga total proporciona un margen razonable. Un factor de servicio de 1,15 ofrece un margen adicional de 15% sobre la carga completa para adaptarse a condiciones de carga pico de corto plazo.

Fuente: Motor selection (2018)

El porcentaje de carga del motor se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Carga de motor} = \left( \frac{\text{Potencia medida (kW)}}{\text{potencia estimada}_{\text{carga completa}} \text{ (kW)}} \right) \times 100$$

$$\text{Potencia estimada}_{\text{carga completa}} \text{ (kW)} = \left( \frac{\text{Potencia}_{\text{nominal}} \text{ (Hp)}}{\text{Eficiencia del motor}_{\text{carga completa}} \text{ (kW)}} \times \frac{0.746 \text{ kW}}{\text{Hp}} \right)$$

Ejemplo: Se midió un motor de 50 hp con una calificación de eficiencia de carga total del 90 % y se encontró que funcionaba a 25 kW. El porcentaje de carga del motor se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Potencia estimada}_{\text{carga completa}} \text{ (kW)} = \left( \frac{50 \text{ Hp}}{0.90_{\text{ef. motor}}} \times \frac{0.746 \text{ kW}}{\text{Hp}} \right) = 41 \text{ kW},$$

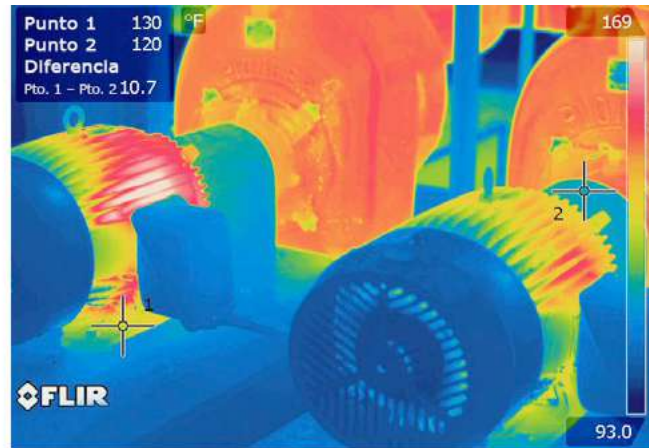
$$\% \text{ Carga de motor} = \left( \frac{25 \text{ kW}_{\text{medido}}}{41 \text{ kW}_{\text{estimado}}} \right) \times 100 = 60\%$$

En caso inverso también puede advertirse motores que está subdimensionados, y que por ende son susceptibles de fallar. Un registro con cámara termográfica puede mostrar exceso de roce en el sistema de transmisión que resulta en una sobrecarga anómala sobre el motor.

Ilustración 26: Termografías en motores en operación



(A) EQUIPO TERMÓGRAFO



(B) TERMOGRAFÍA DE MOTOR

Fuente: Termografía producto de auditorías realizadas

### 3.1.6 Motores en cintas transportadoras o sopladores para manipulación de materiales

Para dispositivos accionados por correa, la velocidad se puede reducir cambiando la relación de poleas y determinar la velocidad mínima permitida para mover el material y evitar problemas de diseño y seguridad. Después de determinar esta velocidad, las revoluciones por minuto (rpm) reales del motor se pueden medir con un tacómetro y seleccionar el mecanismo de impulsión apropiado: VSD, motor de dos velocidades, un motor eficiente de bajas revoluciones y potencia, etc.

Este enfoque puede proporcionar ahorros de energía a bajo costo. Pero su implementación podría requerir evaluar todo el sistema y dimensionar el ventilador y/o motor para manejar eficientemente las condiciones de funcionamiento actuales.

## 3.2 Ventiladores y bombas

- La eficiencia real de una bomba puede variar fácilmente del 50% al 80% en funcionamiento óptimo.
- Al modificar o reemplazar bombas y ventiladores, o al ajustar sus rpm, asegúrese de que puedan funcionar en todas las condiciones previstas para el sistema dado. La presión o altura del sistema no debe exceder la presión máxima que el ventilador o la bomba puede soportar. Los puntos de sobrecarga y cavitación deben evitarse. (Los puntos de sobrecarga se producen cuando un ventilador o una bomba funciona con dos flujos diferentes a la misma presión).

### 3.2.1 Dimensionamiento correcto de bombas o ventiladores

La eficiencia de la bomba o del ventilador depende en gran medida del caudal y la presión, y de sus características de funcionamiento. Para un régimen dado, hay un punto óptimo de flujo y presión de funcionamiento. A medida que la presión cambia, los cambios de flujo y la eficiencia operativa también se ven afectados. Si las condiciones del sistema han cambiado desde la selección inicial de la bomba o ventilador, podría estar operando a una velocidad más alta que la requerida, por lo tanto, desperdiciando energía. Es usual que una bomba o ventilador sobredimensionados trabajen continuamente contra una estrangulación o compuerta (damper) en el ducto, lo que causa ineficiencias aún mayores.

- Reduzca la velocidad de la bomba o del ventilador usando un ajuste de polea, rodete o reemplazo del motor.

Es posible ajustar la velocidad de un ventilador o bomba para que pueda operar de manera más eficiente en un sistema dado. Si el ventilador o la bomba están accionados por correa, las poleas pueden modificarse para cambiar las RPM. También se puede instalar un motor que funcione a diferentes rpm, especialmente si está sobredimensionado. La instalación de un motor de dos velocidades también podría ser una opción.

- Recorte o reemplace los impulsores de la bomba.

Las características de operación de una bomba pueden ajustarse volviendo a dimensionar el impulsor. En un sistema dado, es posible lograr una mayor eficiencia con un impulsor de bomba diferente.

- Reemplace el ventilador o la bomba con un modelo más eficiente en energía.

Puede que no sea posible lograr una eficiencia aceptable en un sistema con una bomba o ventilador determinado. Un nuevo equipo puede ser la mejor opción.

### 3.2.2 Variadores de frecuencia en torre de enfriamiento

La optimización de la torre de enfriamiento reduce el costo de proporcionar agua más fría para el enfriamiento. Al reducir la temperatura del agua de refrigeración, se mejora la eficiencia del equipo o proceso que se está enfriando.

- Los ventiladores de la torre de enfriamiento generalmente tienen una velocidad constante (50Hz) o un motor de dos velocidades. Dependiendo de las condiciones climáticas ambientales (temperatura de bulbo húmedo) en la ubicación de la torre y las cargas de enfriamiento a las cuales está sometida, la instalación de VSD en los motores puede producir ahorros de energía significativos. El aire es forzado o atraído por la torre para enfriar el agua entrante. La temperatura del bulbo húmedo es una indicación de la cantidad de humedad en el aire que fluye a través de la torre. Los VSD variarán la velocidad del ventilador para mantener la temperatura de set point del agua de refrigeración que sale de la torre. Durante los periodos en los que las demandas de refrigeración son mínimas, como el segundo o tercer turno, los ventiladores de la torre funcionan a una velocidad mínima y consumen menos energía.

- Los ventiladores de la torre se pueden apagar durante periodos en los que las condiciones del aire ambiente enfriarán suficientemente el agua sin la ayuda de los ventiladores. El consumo de energía se reduce significativamente a tan solo el costo de hacer circular el agua a través de la torre.

- Además, se deben evaluar las siguientes oportunidades de ahorro de energía para cada torre de enfriamiento:

- Reemplace el material de relleno de la torre con un relleno de película celular para mejorar la eficiencia de transferencia de calor.
- Instale boquillas de aspersion que no se obstruyan ni se corroan para mejorar la distribución del agua a través de la torre.
- Instale ventiladores aerodinámicos energéticamente eficientes.
- Instale motores energéticamente eficientes en los ventiladores y bombas de la torre de enfriamiento.







### 3.2.3 Eliminar estrangulaciones de bombas y ventiladores para controlar el caudal

Uno de los métodos más comunes e ineficientes para controlar un ventilador o una bomba es restringir su flujo. A medida que aumenta la presión, el flujo se reduce. Sin embargo, el trabajo requerido para entregar el flujo reducido es mayor de lo que se requeriría de otra manera. Las siguientes recomendaciones se aplican mejor a los sistemas con flujo variable (como una bomba de agua de alimentación de la caldera o un ventilador de tiro inducido). Si el flujo es constante a un nivel reducido, consulte las recomendaciones para bombas o ventiladores de tamaño incorrecto.

- Reemplace el control del acelerador en la bomba con control de encendido / apagado.

El control de encendido / apagado funciona cuando una bomba mantiene un nivel de depósito en lugar de un flujo constante. La bomba puede configurarse para operar solo con la eficiencia óptima, llenar el depósito y luego apagarse. Esta medida podría crear ciclos excesivos.

- Reemplace el control del acelerador en la bomba o ventilador con control VSD.

VSD puede proporcionar ahorros de energía significativos. Las estimaciones de ahorro rápido varían mucho con las condiciones, sin embargo, los VSD con frecuencia dan resultado en uno o dos años si reemplazan un control de aceleración que opera a 60-70 % del flujo total o menos la mayor parte del tiempo. El impacto en el ventilador o sistema de bombeo debido a variaciones en la velocidad debe ser evaluado cuando se considera esta medida.

Tenga cuidado al aplicar VSD a las bombas de turbina. Daños en los armónicos de vibración pueden desarrollarse en ciertas frecuencias de operación. Asegúrese de evitar las frecuencias de vibración en el perfil de control VSD.

Ejemplo: Si la velocidad (RPM) de un motor de 50 hp que acciona una bomba o ventilador puede reducirse de 1800 rpm a 900 rpm (50 %) y aun así proporcionar el flujo y la presión necesarios para la tarea en cuestión, la potencia requerida es reducida de 50 hp a 13 hp resultando en una reducción de potencia de 75%.

- Reemplace el control del acelerador en la descarga del ventilador con el control de la compuerta de entrada.

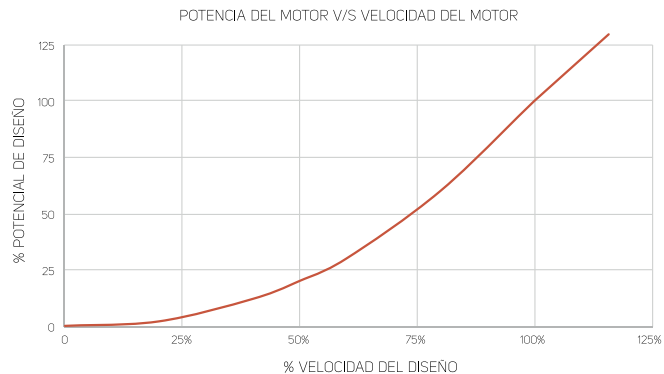
Utilice la siguiente tabla y la gráfica de potencia del motor vs. velocidad del motor para obtener una primera estimación del ahorro de energía con flujo reducido para controlar ventiladores o bombas con VSD en sistemas donde la presión puede descender con un flujo reducido.

Tabla 15: Potencial de ahorro de energía al reducir la velocidad de las máquinas centrífugas

PORCENTAJE DEL FLUJO TOTAL	PORCENTAJE DE ENERGÍA AHORRADA
100%	0%
90%	19%
80%	36%
60%	64%
50%	75%
40%	84%

Fuente: Elaboración propia en base a Motor selection (2018)

Ilustración 27: Curva de ahorro de energía al reducir la velocidad de las máquinas centrífugas



Fuente: Motor selection (2018)

Las compuertas de entrada son una buena opción para aplicaciones como sistemas de recolección de polvo donde el volumen de aire (pies cúbicos por minuto (CFM) de flujo de aire) requiere cambios, mientras que la velocidad del aire y la caída de presión asociada deben permanecer relativamente constantes. Al prelinear el aire de entrada, las paletas guía inertes pueden reducir el flujo de aire sin afectar la presión que debe superar el ventilador. No son tan eficientes como los VSD en aplicaciones donde se puede permitir que la presión del sistema, sin embargo, es una solución de menor costo y periodo de retorno de inversión. En reducciones extremas en el flujo de aire (menos del 30 %) una paleta de entrada actúa como un acelerador y su eficiencia cae significativamente.

Ilustración 28: Compuerta de entrada en flujo de aire



(A) PALETA DE ENTRADA

(B) VÁLVULA RESTRICTORA

Fuente: Ilustraciones obtenidas en [www.majestic.com](http://www.majestic.com) y <https://www.safeair-dowco.com>

### 3.2.4 Eliminar control de derivación para variar el flujo de salida de la bomba

Aunque es menos común, el control de derivación es un método extremadamente ineficiente para controlar el flujo. En el mejor de los casos, el uso de energía de la bomba es constante independientemente de la entrega a un uso final. En el peor de los casos, el uso de energía aumenta con la entrega reducida para el uso final. Como se requiere menos flujo en el uso final, el exceso se desvía al circuito de derivación y se recircula. El fluido desviado no agrega ningún valor al producto final. La descarga de la bomba sigue siendo de alta capacidad, al igual que los costos de bombeo durante los períodos de baja demanda, lo que hace que este control sea muy costoso.

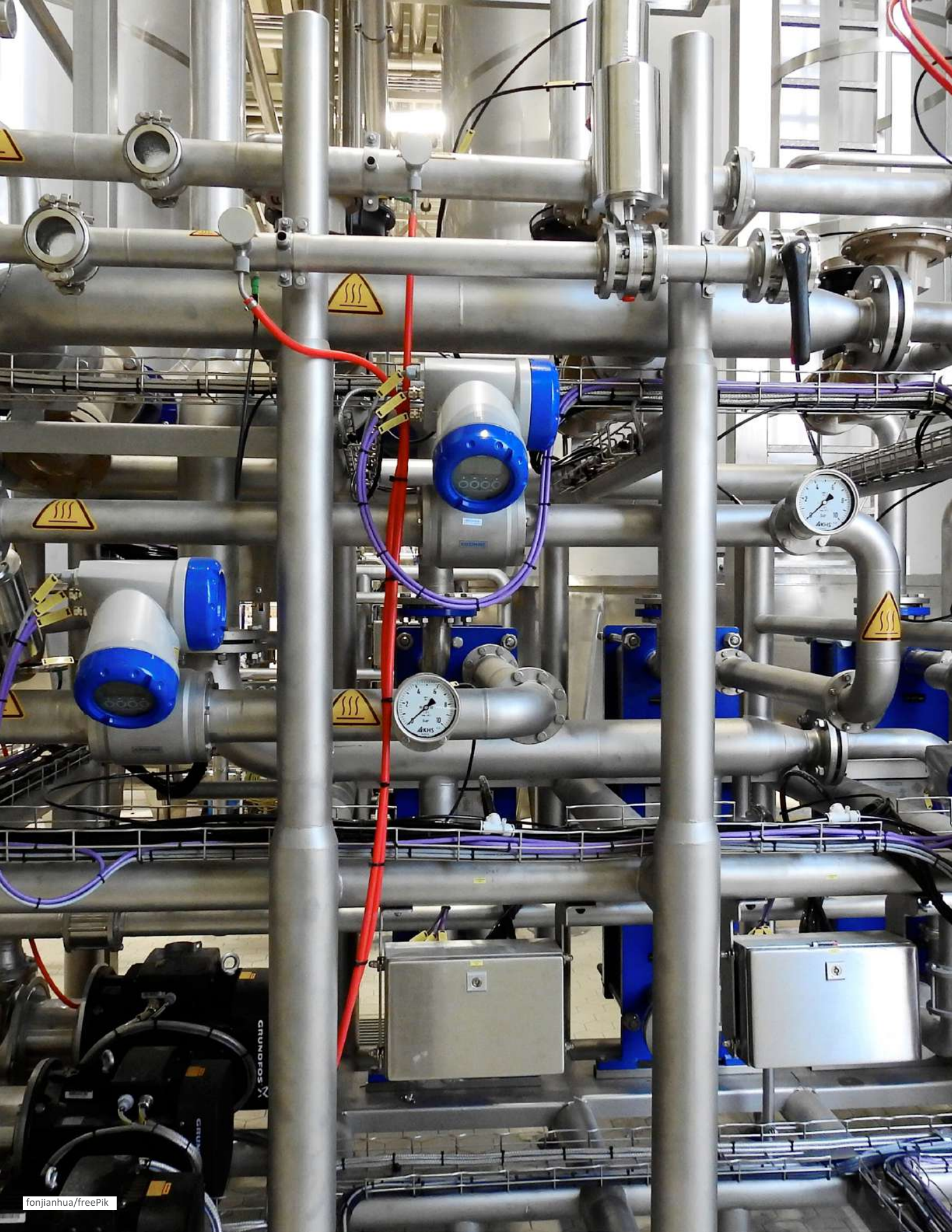
- Reemplace el control del acelerador en la bomba con control VSD.

VSD puede proporcionar ahorros de energía significativos. Las estimaciones de ahorro rápido varían mucho con las condiciones, sin embargo, los VSD con frecuencia dan resultado en uno o dos años si reemplazan un control de aceleración que opera a 60-70 % del flujo total o menos la mayor parte del tiempo. El impacto en el ventilador o sistema de bombeo debido a variaciones en la velocidad debe ser evaluado cuando se considera esta medida.

Tenga cuidado al aplicar VSD a las bombas de turbina. Daños en los armónicos de vibración pueden desarrollarse en ciertas frecuencias de operación. Asegúrese de evitar las frecuencias de vibración en el perfil de control VSD.

Este método de control de modulación puede causar cavitación en la bomba.





## 3.3 Sistema de Vapor

Un orificio de 1/8 "perderá 151.197.000 kcal/año de vapor en un sistema de 100 psi

Aun cuando en los sistemas térmicos sea complejo introducir medidas de eficiencia energética, existen diversas posibilidades para generar una disminución en el gasto en combustible y por lo tanto un ahorro dentro del proceso. Lo anterior es significativo, ya que un solo orificio de 1/8 puede generar pérdidas de vapor por 151.197 (Mcal/año).

Dependiendo el subsector agroindustrial, las calderas pueden funcionar las 24 horas del día y los 365 días del año. Por lo que cualquier mejora realizada en el proceso térmico vinculado con el funcionamiento diario de la caldera producirá ahorros significativos de energía.

### 3.3.1 Ajustar parámetros de operación de la caldera

De acuerdo al combustible y a la eficiencia objetivo, debe lograr un exceso de aire según lo indicado en la tabla. Asegurándose de no reducir el exceso de aire por debajo del mínimo requerido para evitar la creación de monóxido de carbono.

La combustión incompleta debe medirse con un analizador de gases de chimenea para poder comparar los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, respecto a niveles óptimos para una operación eficiente. La acumulación excesiva de hollín o el alto consumo de combustible para la carga de la caldera podrían ser un indicador de este tipo de combustión. Por su parte, el aire inducido o forzado debe ser regulado por un variador de frecuencia y no mediante estrangulación.

Tabla 16: Eficiencia de combustión y rangos de operación de calderas para diferentes combustibles

COMBUSTIBLE	EFICIENCIA OBJETIVO	EXCESO DE AIRE	OXÍGENO	DIÓXIDO DE CARBONO	OTROS
Gas Natural	80-83%	21-28%	4-5%	9.0-9.6%	400 ppm CO
Petróleo	84-87%	22-29%	4-5%	11.9-12.6%	120 gr/m3 MP
Carbón	83-84%	26-34%	4.5%-5.5%	13.7-14.6%	120 gr/m3 MP
Leña	65-75%	61-74%	8-9%	11.7-12.6%	120 gr/m3 MP

Fuente: Elaboración propia en base a Bonneville Power Administration (2014)

### 3.3.2 Controlar la temperatura en humos

La temperatura óptima de los humos de una chimenea es típicamente 10°C a 38°C sobre la presión de vapor de trabajo a fuego alto en una caldera. Un registro de la temperatura de la chimenea después del ajuste de la caldera ofrece un objetivo más preciso para operación óptima

Las temperaturas de humo superiores a estas, se caracterizan por una mala transferencia de calor o demasiado aire de combustión. Sin embargo, temperaturas menores a 135°C en los humos puede llevar a corrosión corrosiva.

Tabla 17: Temperatura máxima de humos según presión de trabajo

PRESIÓN DE TRABAJO	TEMPERATURA MÁXIMA DE HUMOS
30 psig	190°C
75 psig	215°C
100 psig	227°C
125 psig	235°C

Fuente: Elaboración propia en base a Bonneville Power Administration (2014)

- Instale un termómetro de gas de la caldera con registro automatizado.
- Limpie la caldera para eliminar incrustaciones del lado del agua y del fuego. El hollín generalmente se puede eliminar con un cepillo durante el mantenimiento regular. Las incrustaciones del lado del agua pueden requerir un amplio tratamiento químico si son severas
- Precalentar el aire de combustión. La temperatura del gas de la chimenea generalmente debe ser de más de 204°C en una caldera en optimo funcionamiento.

### 3.3.3 Controlar la purga del agua de la caldera

A medida que el agua se evapora en vapor, los sólidos en el agua permanecen en la solución. Para evitar que los sólidos disueltos se acumulen en niveles excesivos, el agua de la caldera se drena y se reemplaza con agua dulce. Esto se conoce como "purga". La diferencia de temperatura entre el agua de reposición y el agua de la caldera caliente representa una pérdida de energía. Para minimizar esta pérdida, la purga debe ajustarse al mínimo requerido para mantener los sólidos disueltos a un nivel aceptable. La velocidad de purga continua depende de la calidad del agua de alimentación y la cantidad de retorno de condensado. La reducción de la purga también reducirá la cantidad de químicos de tratamiento de agua requeridos. Configure la purga según la cantidad total de sólidos disueltos.



### 3.3.4 Buen funcionamiento de trampas de vapor

Las trampas de vapor generalmente se diseñan en función de un máximo de contrapresión. Esta clasificación se determina dividiendo la presión de salida por la presión de entrada, absoluta (psia). Si la contrapresión del sistema actual es mayor que la presión de diseño original, la trampa no puede cerrarse completamente y puede fallar en la posición abierta con lo que soplan vapor hacia el sistema de retorno, lo que a su vez aumenta la contrapresión en otras trampas del sistema y hace que fallen. Cuando el vapor es inducido a la tubería de retorno, el vapor fluye sobre el condensado, eventualmente causando suficiente turbulencia para crear una masa de condensado que llena la tubería.

La masa de condensado puede viajar por todo el sistema de tuberías a la misma velocidad que el vapor hasta que encuentra un cambio repentino en la dirección y esta energía provoca golpe de ariete. Puede ser difícil identificar trampas que tienen fugas, fallas abiertas o fallas cerradas. Cuando se diseñan y mantienen correctamente, las trampas de vapor eliminan el condensado del vapor y purgan el aire y otros gases no condensables del sistema de vapor, lo que aumenta su eficiencia térmica.

El método más confiable para identificar trampas que funcionan mal es usar herramientas ultrasónicas.

Inicie un programa para identificar y reparar trampas que no funcionan bien. Considere instalar continuamente descargas de trampas de vapor termostáticas.

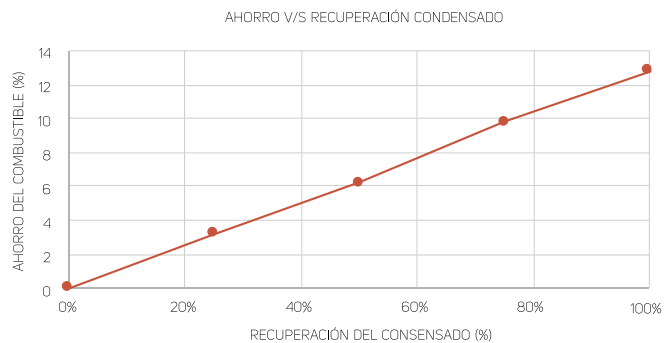
### 3.3.5 Control de pérdidas en retorno de condensado

Hay sistemas que ni siquiera tienen retorno de condensado o bien el sistema de retorno tienen un alcance limitado, es decir, no todos los puntos de retiro de condensado están conectados al loop de retorno de condensados. Hay que evaluar si los costos de pipping y fitting son compensados con los mayores ahorros en combustible en la caldera.

Si el sistema de retorno de condensado es abierto a la atmósfera el condensado caliente viajará en la dirección de alta presión a baja presión. Cuando el tanque de alimentación se ventila a la atmósfera, a medida que el condensado ingresa al tanque de alimentación se generará vapor flash debido a la repentina caída de presión y este escapará a través de la ventilación. El vapor y la energía asociada se pierden.

- Instale trampas de vapor diseñadas apropiadamente para reducir la cantidad de vapor perdido a través del sistema abierto.
- Instale el sistema de retorno de condensado presurizado para reducir las pérdidas de vapor del flash.
- Aislar los tanques de almacenamiento de condensado.
- Instale un medidor de caudal para medir la cantidad de agua de reposición de la caldera que se está consumiendo.

Ilustración 30: Ahorro de combustible v/s recuperación condensado.



Fuente: ALTERNATIVAS DE AHORRO EN PLANTAS TÉRMICAS, THERMAL ENGINEERING LTDA.

### 3.3.6 Controlar los ciclos de encendido y apagado de la caldera

La eficiencia de la caldera se reduce a carga parcial en tanto ciclos frecuentes reduce la eficiencia general de la operación y la vida útil de una caldera. Esto último puede ser un indicador de una caldera sobredimensionada. La solución aquí no es otra que instalar múltiples calderas más pequeñas (modulares) en el caso de cargas variables o bien, hacer coincidir la demanda de vapor con la salida de la caldera.

### 3.3.7 Recuperación de calor

- Instale intercambiadores de calor para usar los gases de chimenea para precalentar el agua de la caldera.
- El calor residual de los compresores de aire u otro equipo se puede utilizar para esta aplicación.
- Use condensado a alta presión para crear vapor flash y servir a procesos que requieran vapor a baja presión.



## 3.4 Sistemas de refrigeración

Mejoras en EE dentro de los sistemas de refrigeración son claves, ya que, el uso de energía del compresor cae entre 1% y 1.5% por cada 1% de caída de presión de carga. De la misma forma, el uso de energía del compresor cae entre un 2% y un 3% por cada 1% de aumento de la presión de succión.

### 3.4.1 Optimización del sistema de refrigeración

- Optimizar la presión entre etapas.

Un sistema de dos etapas tiene tres presiones separadas mantenidas por compresores de etapa alta y baja. Elija presión intermedia para que cada compresor tenga aproximadamente la misma relación de presión para minimizar el uso de energía del compresor.

El enfriamiento por etapas o en cascada produce un incremento en el rendimiento del sistema (COP) superior al 30% y, por ende, puede generar un ahorro global de un 15% en el sistema de refrigeración.

- Sistema economizado de una sola etapa.

Para aplicaciones que requieren temperaturas extremadamente bajas, como un congelador de ráfaga, generalmente se prefiere un compresor de dos etapas. Un sistema de etapa única "economizado" puede permitir el funcionamiento a temperaturas de aspiración ligeramente inferiores a la vez que proporciona la refrigeración necesaria y evita el costo de un sistema de dos etapas.

Instale un control de velocidad de 2 velocidades o VSD en los ventiladores del condensador y del evaporador. Al reducir la velocidad del ventilador cuando no se necesita la capacidad total, el consumo de energía de los motores de los ventiladores se reduce significativamente.

- Recirculación evaporador y ventiladores del condensador.

Los ventiladores del evaporador mueven el aire a través de las bobinas de refrigerante para acondicionar el espacio. Los ventiladores del condensador eliminan el calor generado durante la compresión del refrigerante. Los ventiladores del evaporador pueden apagarse cuando no son necesarios para controlar la temperatura o romper la estratificación el aire en el espacio. Los ventiladores de recirculación ahorran energía a los ventiladores y compresores. Los ciclos de trabajo se pueden reducir hasta en un 50%. Se puede usar un temporizador para ciclar ventiladores primarios después de una cantidad dada de operación.

El compresor también influye en la eficiencia del sistema, por lo que se debe escoger el más adecuado según el tipo de operación.



### ■ 3.4.2 Control de presiones de trabajo

- Instale control automático computacional para que los compresores operen en su punto de mayor eficiencia.
- Instale interruptores que se activen a distintas presiones de succión para coordinar el arranque de compresores que estén conectados a una descarga común, de tal manera que los compresores operen en forma secuencial.
- Controlar que la presión de succión no se más baja que lo necesario para prestar un buen servicio (al proceso o a la cámara refrigerada).
- La falta de aislación del equipo de proceso o cámara y los evaporadores de tamaños insuficientes o sucios requieren de una menor presión de succión y, por ende, desperdician más energía.
- Consolide y conecte cargas con requisitos de succión similares, y dedique un compresor a estas cargas. Los compresores que funcionan a su presión de succión máxima son más eficientes en el consumo de energía.
- Restablezca la presión de succión para que coincida con la presión real requerida para cumplir con las cargas de enfriamiento.
- Aumente la capacidad del evaporador para reducir la temperatura de entrada al evaporador y aumentar la presión de succión. Los ahorros del compresor que resultan de operar a presiones de succión más altas a menudo compensan la energía adicional consumida por el ventilador del evaporador.
- Eliminar los reguladores de presión de retorno como medio para controlar las presiones de succión. Es mejor separar las cargas que requieren presiones de succión distintas.
- Haga un dimensionamiento correcto de las cañerías. Cañerías subdimensionadas provocan una excesiva caída de presión que redundan en un mayor consumo del compresor 1% a 3%.

Mientras mayor sea la temperatura de evaporación de un sistema de refrigeración, menor será su consumo de energía.

Un aumento de 1°C se traduce en ahorros que van entre un 1% y un 4%. Asimismo, de acuerdo a las condiciones de la instalación, normalmente es posible aumentar la temperatura en hasta 5°C.

Algunas maneras de aumentar la temperatura de evaporación son:

- Mantener los evaporadores libres de hielo.
- Evitar obstrucciones al flujo de aire en las cámaras de frío.
- Mantener los intercambiadores de calor libre de obstrucciones, aceite, etc.
- Limpiar o cambiar periódicamente los filtros de refrigerante.
- Elevar la temperatura de evaporación hasta el mayor valor posible, en función de las necesidades del proyecto.

Al aumentar la temperatura de evaporación aumenta el rendimiento de los compresores y también la potencia absorbida, y disminuirá el trabajo requerido para obtener la misma potencia frigorífica.

Al aumentar la temperatura de evaporación disminuye el volumen de refrigerante que se mueve por las líneas por lo que disminuye la caída de presión.

### ■ 3.4.3 Control de potencia leída

Como medida de reducción de costos y cuando sea posible, alterne el funcionamiento de sistemas de refrigeración de tal manera de evitar peak de consumo que redundan en mayores costos de potencia. Asimismo, considere la acumulación térmica, lo cual, a su vez, sirve para hacer trabajar a los compresores a su plena carga, o como medio de equilibrar sistemas con distintos requerimientos de presión de succión.

### ■ 3.4.4 Control de presión de descarga

- Configure el sistema para que funcione a presiones de descarga más bajas por medio de una bomba de amplificación de presión de líquido (LPA).

El gas flash causado por las pérdidas de carga de un sistema con baja presión de descarga puede evitarse con este tipo de bombas. La bomba LPA es una bomba de potencia pequeña con un impulsor accionado magnéticamente instalado a la salida del condensador para aumentar la presión y subenfriar el refrigerante antes de que ingrese a la válvula de expansión. Esto permite que el compresor funcione con una presión de descarga más baja.

- Instale un sistema de enfriamiento termosifón para enfriar el aceite del compresor.

El aceite se usa para sellar, enfriar y lubricar compresores de tornillo. El enfriamiento por inyección de refrigerante líquido usa 5-15% de la potencia del compresor para volver a comprimir el refrigerante. Un sistema de termosifón enfría el aceite con un intercambiador de calor transfiriendo el calor del aceite al refrigerante, lo que hace que cambie de líquido a vapor. El vapor de refrigerante se eleva a un condensador donde se condensa en un líquido y el ciclo se repite. Este proceso requiere menos energía para enfriar el aceite que la inyección de refrigerante líquido.

- Instale una capacidad de condensación adicional para reducir la presión de descarga.

La capacidad de condensación adicional acercará la temperatura del refrigerante líquido a la temperatura del bulbo húmedo, por lo tanto, aumentará la eficiencia de transferencia de calor.

Tabla 18: Presión de descarga mínima en refrigerantes

PRESIÓN DE DESCARGA MÍNIMA	
Amoniaco	93 psig
R12	72 psig
R134a	72 psig

Elaboración propia en base a Bonneville Power Administration (2014)

### ■ 3.4.5 Mantenimiento regular a los compresores

- Mantenimiento de condensadores evaporativos.

El agua se evapora a medida que absorbe el calor del refrigerante de condensación. La superficie de intercambio de calor debe estar limpia y libre de corrosión. El aire debe pasar libremente para una transferencia de calor eficiente. El agua debe tratarse para reducir el sarro y la corrosión, y reducir el crecimiento biológico.

- Purga de gases no condensables.

Los gases no condensables, como el aire o el CO<sub>2</sub>, reducen el área superficial efectiva del condensador utilizado para condensar el vapor de refrigerante, disminuyendo así la eficiencia del intercambiador de calor. En general, los no condensables ingresan al sistema cuando la presión de succión de etapa baja es menor que la presión atmosférica. Los controles de purga automáticos están disponibles. El sistema también puede ser purgado manualmente cuando aumenta la presión de descarga. Un data logger o sensor en línea sirve para identificar cuando cambian las condiciones de operación.

### ■ 3.4.6 Optimización del control de descongelación del evaporador

Las bobinas del evaporador deben estar libres de hielo para una transferencia de calor máxima.

- Evite tiempos de descongelamiento excesivos. El fluido tibio (gas refrigerante o agua) comúnmente se usa para descongelar evaporadores. El calor calentará el espacio después de que el hielo se haya derretido. Los sensores de flujo de aire y los termopares pueden controlar el sistema de descongelación para detenerlo tan pronto como se derrita el hielo.
- Use descongelamiento de gas caliente en lugar de descongelamiento eléctrico. El refrigerante de alta presión es más eficiente que los calentadores eléctricos.
- Use descongelación de agua en lugar de descongelación con gas caliente.

El agua de proceso caliente también puede descongelar el evaporador. No se requiere energía adicional del compresor. Esto puede ser más eficiente y más rápido en túneles de congelación, por ejemplo, donde el descongelamiento puede ocurrir con agua sin que el producto esté presente.

### ■ 3.4.7 Recuperación de calor

- Utilice el calor residual de los compresores/condensadores.
- Aislar el área del enfriador / congelador. El aumento de calor innecesario disminuye la eficiencia del sistema.

En un sistema de refrigeración los gases de descarga contienen energía la cual se puede utilizar para otro proceso. Esta energía normalmente es eliminada en los condensadores.

La temperatura de gases promedio es para compresores de tornillo 80°C y para compresores de pistón 120°C

Una opción es el calentamiento de fluidos acuosos hasta cerca de 30°C con intercambiadores de placa. Dada la temperatura de descarga, es más conveniente esta solución cuando se tienen compresores de pistón.

Par evaluar el caso se procede de la siguiente forma:

Si se conoce el flujo másico de refrigerante, se toma nota de este flujo. Si no se conoce se toma la potencia del sistema de refrigeración en (kcal/hr o kW). Con la temperatura de entrada y salida del refrigerante al evaporador se calcula su respectivo salto de entalpía (kcal/kg), el cual se usa para dividir a la potencia del sistema y así obtener el flujo másico (kg/hr). Luego si esperamos bajar la temperatura del gas de descarga desde 120°C a 35°C, y teniendo en cuenta el calor específico del refrigerante y su flujo másico obtenemos el calor posible de extraer.

$Q = \text{flujo másico} \cdot \text{calor específico} \cdot \text{dif. de temp}$ , luego dependerá de la eficiencia del sistema de intercambio de calor la cantidad de energía a ser recuperada por el fluido a calentar.

■ Par efectos de cálculo, considerar para compresores de pistón y amoniaco como refrigerante, que normalmente es posible extraer un 25% de la potencia del sistema, de los cuales un 80% es traspasado al fluido a calentar a 30°C

Como beneficio indirecto la operación del calentador de agua libera hasta un 20% de la carga de condensación, lo que le permite a este operar más holgadamente con la consiguiente estabilidad de presión de condensación. Además, si se aprovecha el calentador como condensador, es decir aprovechar el calor latente, se podría obtener más caudal de agua y menos capacidad cargada al condensador, es decir, que este podría disminuir el uso de sus ventiladores según sea su control de capacidad.

### ■ 3.4.8 Acumulación

Un estanque de termo-acumulación cubre la variación de demanda térmica provocada por los procesos y cámaras. Estos deben tener una autonomía mínima de 15 a 20 minutos (hasta 3 horas) que impide detenciones y partidas de compresores innecesarias. El estanque actúa como pulmón del refrigerante secundario, permite suministrarlo a una temperatura controlada y cubrir toda la demanda sin sobrecargar a los equipos. Incluso permite absorber puntas y por lo tanto, se puede optar por un diseño de capacidad más ajustado y eficiente. La utilización de un estanque termo-acumulador disminuye el tiempo de operación de los compresores durante el día.

■ Se puede considerar un ahorro energético de 15% producto de la implementación de un sistema de acumulación. Este puede llegar a 30% en el caso de implementar acumulación y un sistema de compresores en cascada.



### 3.4.9 Uso de Variador de Frecuencia para control de capacidad frigorífica

Convencionalmente el control de la capacidad frigorífica se hace mediante una válvula deslizante, lo que hace que la potencia consumida no aumente proporcionalmente a la capacidad frigorífica, debido a que el motor y compresor trabajarán en rangos no eficiente. Al igual que en el caso de los motores, el uso de variadores de frecuencia genera un ahorro entre 10% y 18%, en el consumo eléctrico.

El variador entrega la frecuencia necesaria en base a la presión de succión del sistema, si esta sube, la frecuencia y velocidad de giro aumentará incrementando la capacidad del compresor hasta que éste logre alcanzar la presión correspondiente a la temperatura de evaporación que se requiere.

Fuera del ahorro de energía al realizar control de capacidad por velocidad y lograr mantener la eficiencia compresor en distintas condiciones de operación, hay un menor castigo al motor y piezas mecánicas del compresor debido a partidas y detenciones de la unidad; hay regulación, control más preciso y comportamiento estable de la presión de evaporación; y se tiene una baja corriente de partida.

Para evaluar el uso de un variador de frecuencia en compresores se procede de la siguiente forma.

Por ejemplo que el consumo eléctrico con válvula deslizante bajo un régimen de operación de 80% es un 14% superior al del compresor trabajando al 100%.

Se tiene en cuenta las horas de operación anuales y el precio por kWh eléctrico para obtener el ahorro.

Por ejemplo, si el equipo consume 250 kW con válvula deslizante y trabaja 18 horas por 20 días por 12 meses, el ahorro esperado sería:

$$\text{Ahorro Anual} = 250 \text{ kW} \times 0,135 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 18 \frac{\text{hrs}}{\text{días}} \times 20 \frac{\text{días}}{\text{meses}} \times 12 \text{ meses} \times 0,14$$

$$\text{Ahorro Anual} = 20.412 \text{ USD}$$



## 3.5 Secadores

Se ocupan diversos secadores en la industria hortofrutícola, siendo los predominantes los continuos, rotatorios y de bandejas.

### 3.5.1 Control

- En todos los casos el control de los parámetros de operación de acuerdo al tipo de producto definirá su eficiencia energética, pues un adecuado control logrará la humedad y temperatura objetivo a la salida y permitirá minimizar el reproceso.
- Se debe procurar un secado homogéneo, suficiente circulación de aire y optimizar el contacto del aire con el producto.
- Asimismo, controlar la salida de aire saturado y la inyección de vapor en cada etapa.
- Por ejemplo, en secadores continuos el requerimiento de vapor y aire en la última parte del secador serán menores que al comienzo, cuando el producto tiene baja temperatura y alta humedad. Asimismo, el aire puede tener un mayor tiempo de retención previo a retirarse saturado. Esto se logra con ventiladores de recirculación y bajando la inyección de aire fresco.
- Instalar sensores de temperatura por zona que permitan monitorear y optimizar la uniformidad del secado.

### 3.5.2 Recuperación de calor

- Una buena parte de la energía aportada al proceso es retirada en la extracción de aire saturado, el cual es evacuado al exterior. Aquí es posible la implementación de recuperadores de calor, que permitan precalentar el aire fresco previo a su entrada al secador. Una oportunidad similar existe en los procesos de concentración, donde se retira aire saturado por medio de una bomba de vacío, el cual normalmente es liberado al ambiente.



1) Se debe conocer el calor contenido en el aire saturado que sale del equipo. Para ello se puede medir el caudal, temperatura y humedad. De lo contrario se puede estimar en base al balance energético, donde al calor suministrado al proceso se le descuentan las pérdidas por transporte, las pérdidas por la envolvente de los equipos, aquella parte de la energía que es rechazada en el condensador y aquella que queda como residual, tanto en los equipos como en el producto.

El recuperador de calor debe ser capaz de recuperar el calor latente y parte del calor sensible al llevar el aire a una temperatura de salida equivalente a la de entrada 20°C.

Se puede decir que el destino de la energía térmica aportada al proceso se consume en pérdidas en tuberías 3%, pérdidas por envolvente del secador 20%, calor residual en el producto y equipo 15%, mientras que el restante 62% se evacúa al exterior en forma de aire saturado a una temperatura entre 50 y 60 °C.

2) En forma alternativa se puede calcular el calor presente en el aire de salida, de la siguiente forma:

$$Q = m_1 \times c_p \times \delta T + m_2 \times T_v$$

Donde,

$m_1$ =es la masa del aire húmedo de salida, es decir la suma de la masa de aire más la de agua (kg)

$C_p$ =calor específico del aire húmedo 10% agua en 0,00035 kW/kg K

$\delta T$ = la diferencia de temperatura antes y después del recuperador (K)

$m_2$ = masa de agua condensada kg, equivalente al agua extraída de los productos

$T_v$ = calor latente de vaporización del agua (0,68 kWh/kg)

3) La masa de agua a eliminar se determina considerando que los productos que se secan contienen una humedad 100% base seca. Es decir que, si se procesan 100.000 kg/año, la masa de agua a retirar será de 100.000 kg/año, lo cual luego se divide por las horas de operación al año para obtener la masa de agua a retirar por hora.

4) Para una temperatura del aire de 55°C, la densidad de vapor saturado es 99,5 g/m<sup>3</sup>. Si la humedad actual del aire es 95 g/m<sup>3</sup>, entonces la humedad relativa es 95 %. Esto es prácticamente la máxima cantidad de agua que puede contener. Con esta cantidad de humedad, el punto de rocío es aproximadamente 53,9°C

Para obtener  $m_1$ , la masa de agua se multiplica por 0,095 y por la densidad del aire a 55°C, que es 1,092 kg/m<sup>3</sup> y se suma la masa de agua  $m_2$ .

5) Se remplazan los valores en la fórmula de calor y se obtiene el calor posible de recuperar, el cual corresponde a la capacidad del intercambiador aire-aire a instalar.

6) El calor recuperable se multiplica por las horas de operación anuales para obtener la energía a recupera al año en kWh/año.

7) Se valoriza el ahorro anual al multiplicar la energía recuperada por el costo por kWh para el combustible de operación de la caldera. El resultado corresponde al ahorro anual.

8) Se construye un flujo de caja a 5 años con el ahorro anual y el costo de inversión, que se puede avaluar en \$ 2.640 por m<sup>3</sup>/h de capacidad de flujo de aire. Se calcula la TIR y periodo de retorno de la inversión.

### 3.5.3 Controlar velocidad en Ventiladores

- En el caso que se procesen productos diferentes es aconsejable el uso de variadores de frecuencia para los ventiladores, de tal manera de trabajar con el caudal adecuado para el producto.
- En el caso de secadores de bandeja, el variador de frecuencia permite variar el caudal de aire conforme avanza el ciclo de secado.







## 3.6 Concentradores

Hay diversas formas de reducción de consumo en concentradores, medidas que han de evaluarse caso a caso previa evaluación de mejoras en la aislación. De hecho, la ausencia de aislación puede genera pérdidas de calor en torno a 3% del consumo energético de los equipos.

La primera medida que suele incorporarse desde el diseño es la inclusión de múltiples efectos en la evaporación, donde el vapor extraído en un paso se convierte en la fuente térmica del siguiente paso.

Al final del proceso de evaporación se obtiene condensado, el cual también puede ser aprovechado, como agua de reposición de la caldera debidamente tratada.

En general para el caso de concentradores son útiles dos cálculos: uno, que se refiere a recuperar el calor del aire saturado que bota la bomba de vacío y dos, recuperar el calor del agua de refrigeración del condensador. El primero es análogo al detallado en el punto 3.5.2 (intercambiador aire-aire con condensación), y el segundo (intercambiador agua-agua) se explica a continuación.

- 1) Se debe conocer el calor contenido en el agua de refrigeración del condensador. Para ello se puede medir el caudal y temperatura. De lo contrario se puede estimar en base al balance energético, donde al calor suministrado al proceso se le descuentan las pérdidas por transporte, las pérdidas por la envolvente de los equipos, aquella parte de la energía que es eliminada a través del aire saturado que expulsa la bomba de vacío y aquella que queda como residual, tanto en los equipos como en el producto.
- 2) De la energía disponible en el agua, se asume una eficiencia de 80% para un intercambiador de calor de placas, la que puede incluso llegar a sobre el 90%. Se multiplica el calor disponible en el agua de enfriamiento por la eficiencia y se obtiene el calor útil.
- 3) Se procede a calcular el ahorro anual, para lo cual se multiplica el calor en kW por el número de horas de funcionamiento, con lo que se obtienen la energía anual. La energía se multiplica por el costo de la unidad térmica asociada a la caldera, con lo cual se obtiene el ahorro anual.
- 4) Se construye un flujo de caja, con horizonte de 5 años, en donde la inversión corresponderá a la adquisición e instalación del intercambiador de calor al cual se puede le puede asignar un precio de \$15.600 por kW de capacidad de intercambio. Se calcula la TIR y periodo de retorno.

Esta solución debe evaluarse después de la aislación del concentrador y puede combinarse con una torre de enfriamiento con ventilador y bomba equipados con variador de frecuencia, en caso de no tener destino suficiente para el calor removido.

Para evitar esta situación o gastos innecesarios en equipos sobredimensionados siempre se debe verificar el destino o uso del calor recuperado.

## 3.7 Aislación

El aislamiento térmico es la utilización de distintos materiales para revestir una superficie, actuando como una barrera en la trayectoria del flujo del calor y así retardar la transferencia de calor entre dos medios. El aislamiento térmico conlleva variados beneficios como lo son:

- Conservación de la energía: al reducir la velocidad del flujo de calor, la energía se conserva en la superficie aislada por más tiempo.
- Mantenimiento de la temperatura del proceso: el uso de aislación térmica facilita que la temperatura dentro de tanques, cañerías y cámaras se mantenga en los parámetros de operación.
- Prevención de la condensación y corrosión: el revestimiento utilizado como aislamiento, además funciona de manera protectora frente al vapor de agua que existe en el ambiente y que condensa sobre las superficies cuya temperatura sea menor al punto de rocío, evitando condensación y corrosión en superficies metálicas.
- Protección contra la congelación: la exposición prolongada a temperaturas inferiores a la congelación puede causar que el agua encontrada en tubos o recipientes de almacenamiento se congele y éstos se revienten. El uso de aislamiento retarda la pérdida de calor del agua e impide su temprana congelación.
- Reducción del ruido y de la vibración: un beneficio adicional del aislamiento térmico es la capacidad de amortiguar ruido y vibraciones, el nivel de reducción de estas variables depende de los materiales utilizados para aislar.

Mientras mayor espesor tenga el aislante, menor será la transferencia de calor existente, pero también más alto será el costo de ese aislamiento. Por lo tanto, hay un espesor óptimo del aislamiento que corresponda a un costo mínimo combinado del propio aislamiento y la pérdida de calor.

Existen distintos tipos de aislamiento que se desempeñan de manera distinta en los procesos de frío o calor. Hay que tener en consideración que el coeficiente de conductividad térmica aumenta con la temperatura, por lo tanto, no todos los aislantes son apropiados para temperaturas elevadas. Los tipos de aislamiento más utilizados son los siguientes:

Tabla 19: Parámetros de los principales aislantes

ASLAMIENTO	CONDUCTIVIDAD (W/MK)	RANGO DE UTILIZACIÓN (°C)	USO FRECUENTE
Lana mineral	0,042	30-650	Calor – muros, tuberías.
Silicato de calcio	0,079	37-650	Calor – placas, tuberías.
Perlita	0,01	60-810	Calor – placas, tuberías, preformados.
Poliuretano expandido	0,036	-180 – 105	Frío – cañerías, placas, muros.
Lana de vidrio	0,084	-268-482	Frío – cañerías, placas.
Espuma elastómerica	0,029	-196-100	Frío – cañerías, placas.

Fuente: Elaboración propia en base a [www.ayrsa.cl](http://www.ayrsa.cl) y [www.isoplast.cl](http://www.isoplast.cl)



### 3.7.1 Aislación de cañerías

La aislación térmica en cañerías busca mantener las temperaturas del fluido durante el proceso, reduciendo las pérdidas de calor de la cañería hacia el ambiente en fluidos calientes y reduciendo el calor traspasado del ambiente a la cañería en fluidos fríos.

El aislamiento en tubos se determina mediante la siguiente manera:

$$R = R_i + R_1 + R_2 + R_o$$

Donde,

$$R_i = \frac{1}{h_i A_1}$$

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_2 L}$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L}$$

$$R_o = \frac{1}{h_o A_3}$$

R=resistencia térmica  $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$

Ri=resistencia térmica convectiva interior  $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$

R1=resistencia térmica cañería  $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$

R2=resistencia térmica aislante  $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$

Ro=resistencia térmica convectiva exterior  $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$

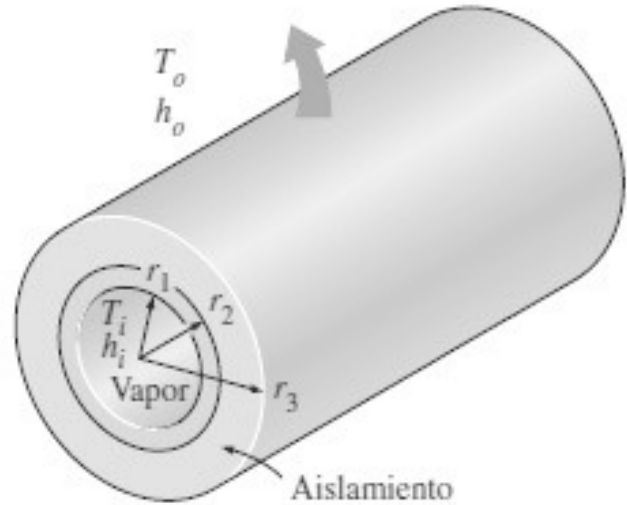
r3=radio exterior de la cañería+aislamiento (m) r2=radio exterior de la cañería (m) r1=radio interior de la cañería

ho=coeficiente de conducción convectiva interior exterior  $\left(\frac{m^2K}{W}\right)$

k1=conductividad térmica de la cañería  $\left(\frac{W}{mK}\right)$  k2=conductividad térmica del aislante  $\left(\frac{W}{mK}\right)$

A1=Superficie interior cañería (m<sup>2</sup>)

L=Largo de cañería (m)



Para el acero inoxidable considerar un coeficiente de conductividad  $k=16,3$  (W/m K)  
 Como coeficiente de conducción convectiva en líneas de vapor se puede usar  $h_i=80$  (W/ m<sup>2</sup> K)  
 Como coeficiente de conducción convectiva desde la tubería al aire usar  $h_o=16$  (W/ m<sup>2</sup> K)

La transferencia de calor entre dos ambientes por conducción a través de un tubo se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \times S$$

Donde,

$Q$ =transferencia de calor entre dos superficies (W)

$R$ =resistencia térmica ( $\frac{m^2K}{W}$ )

$\Delta T$ =diferencia entre temperatura exterior e interior del tubo (K)  $S$ =superficie exterior del tubo m<sup>2</sup>

Al observar las ecuaciones se deduce que, al utilizar aislantes con menor conductividad térmica, mayor es la aislación por lo tanto menor es la transferencia de calor que existe entre los tubos y el ambiente.

Ilustración 31: Aislación en piping



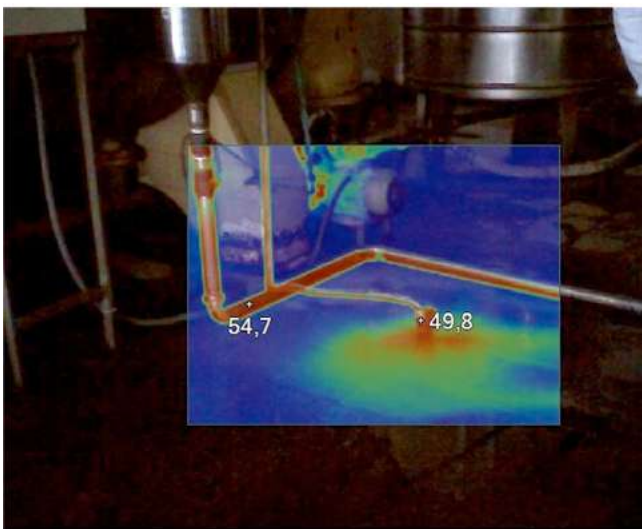
(A) AISLANTE PARA PIPING



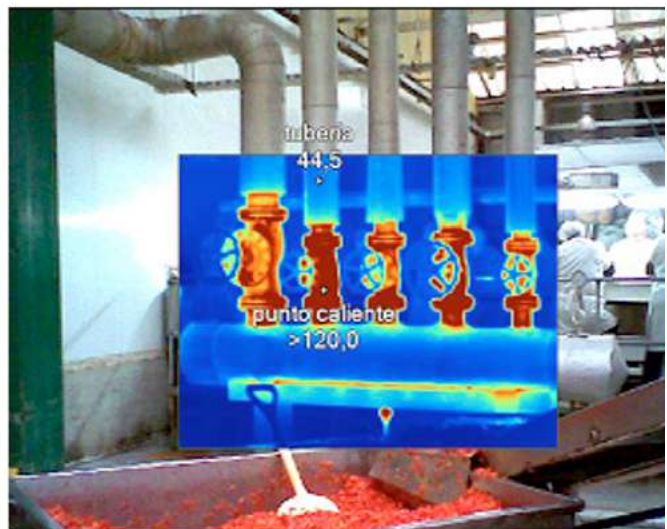
(B) VÁLVULA CON AISLANTE

Fuente: Elaboración propia en base a [www.ayrsa.cl](http://www.ayrsa.cl) y [www.isoplast.cl](http://www.isoplast.cl)

Ilustración 32: Perdidas de calor por ausencia de aislación.



(A) PIPING



(B) VÁLVULA

Fuente: Termografía producto de auditorías realizadas



### 3.7.2 Aislación de equipos

La aislación térmica en equipos es relevante, cuando estos involucran procesos térmicos con alta temperatura o frío. Por lo general estos equipos son cilíndricos (concentradores, evaporadores, intercambiadores de calor), o bien son paralelepípedos, tales como secadores, túneles de enfriamiento.

La aislación de cilindros es para mantener de manera más eficiente la temperatura de operación al interior de éstos, reduciendo las pérdidas de calor entre las paredes de los equipos y el ambiente.

El aislamiento en equipos cilíndricos se determina mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{r_2}{k} \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)$$

Donde,

R=resistencia térmica ( $\frac{m^2K}{W}$ )

r2=radio exterior del equipo+aislamiento (m)

r1=radio interior del equipo (m)

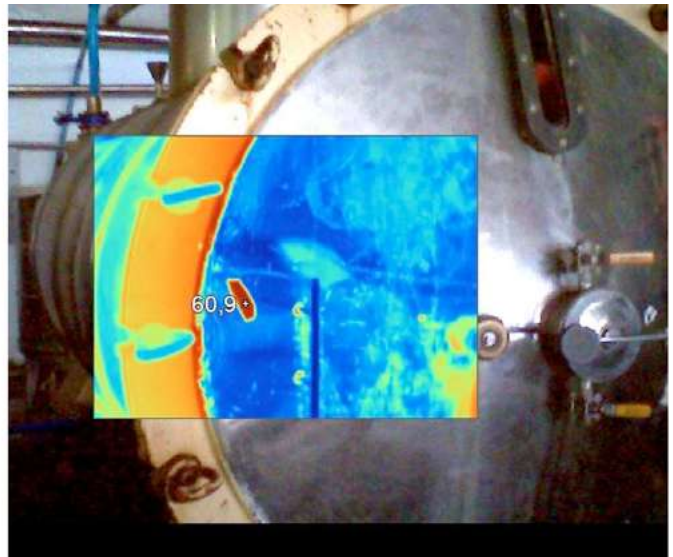
k=conductividad térmica del aislante

La transferencia de calor equipo-ambiente se obtiene con la misma expresión que la transferencia de calor en tubos. Por lo tanto, a mayor aislante, menor traspaso de energía

Ilustración 33: Pérdidas de calor en equipos industriales por problemas de aislación.



(A) CALDERA



(B) TERMOGRAFÍA A CALDERA

Fuente: Termografía producto de auditorías realizadas

### 3.7.3 Cámaras y envolventes de sección rectangular

La aislación térmica en cámaras busca mantener las temperaturas al interior de los recintos, reduciendo las pérdidas o ganancias de calor entre las paredes de las cámaras y el ambiente.

El aislamiento en superficies planas como las paredes se determina mediante la siguiente manera:

$$R = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + R_{se}$$

Donde,

R=resistencia térmica ( $\frac{m^2K}{W}$ )  $R_{si}$ =resistencia térmica superficial interior ( $\frac{m^2K}{W}$ )

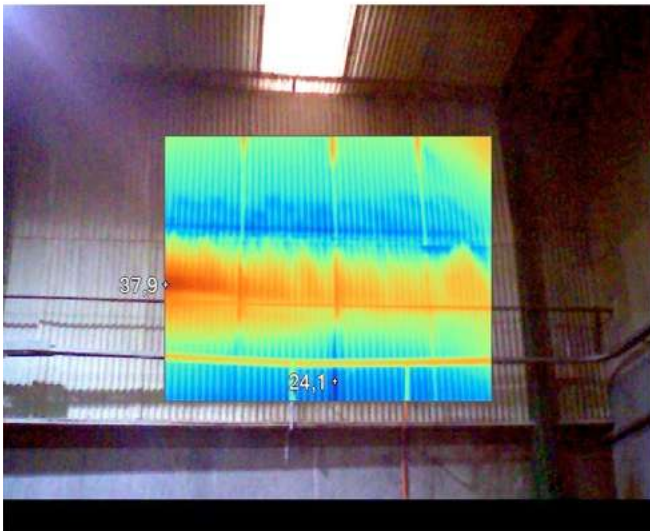
e=espesor del material aislante i (m)

$k_i$ =conductividad térmica del aislante i ( $\frac{W}{mK}$ )

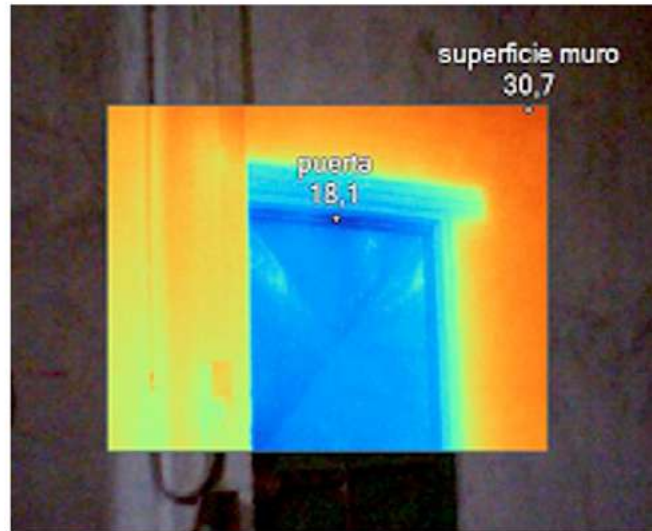
$R_{se}$ =resistencia térmica superficial exterior ( $\frac{m^2K}{W}$ )

La transferencia de calor entre dos ambientes por conducción a través de un elemento plano tipo muro se obtiene con la misma expresión que la transferencia de calor en tubos. Por lo tanto, al utilizar aislantes con menor conductividad térmica, mayor es la aislación por lo tanto menor es la transferencia de calor que existe entre los muros el ambiente.

Ilustración 34: Pérdidas de calor en cámaras y recintos.



(A) PARED DE BODEGA



(B) PUERTA CÁMARA DE FRIO

Fuente: Termografía producto de auditorias realizadas











## 3.8 Iluminación

La eficiencia lumínica tiene varias aristas.

La primera guarda relación con el dimensionamiento. Por lo general, las plantas no han sido implementadas con un diseño optimizado de iluminación. Un diseño optimizado, permite la explotación de la luz natural, la intensidad de iluminación de acuerdo a la norma que rige para el recinto, el uso de iluminación eficiente y la implementación de dispositivos de control automático, tales como sensores de movimiento, celdas fotoeléctricas, entre otros. La visita realizada a diversas empresas permitió apreciar más bien un subdimensionamiento, no obstante, esto debe confirmarse con luxómetro durante el funcionamiento de la planta.

La segunda tiene que ver con el comportamiento del usuario, y básicamente determina el uso correcto de la iluminación, lo que conlleva las horas de utilización.

La tercera tiene que ver con maximizar el uso de luz natural.

Finalmente, la cuarta es el uso de equipo iluminación con una alta relación de iluminación vs. consumo eléctrico (lúmenes/watt).

### 3.8.1 Redimensionamiento

Cabe señalar que la iluminación se diseña considerando ausencia de luz natural, pero se distribuye en circuitos que permitan la existencia complementaria de luz natural y luz artificial.

- Cantidad de iluminación: La cantidad de iluminación de un recinto, medida en lux está determinada por norma de acuerdo a la tabla.

Tabla 20: Iluminancia mínima por recinto

ILUMINANCIA MÍNIMA [LUX] SEGÚN NCH ELEC.4:2003	
GENERAL	
RECINTOS	$E_m$ [lux]
Auditorios	300
Bancos	500
Bodegas	150
Bibliotecas públicas	400
Casinos, Restoranes, Cocina	300
Comedores	150
Fábricas en general	300
Imprentas	500
Laboratorios	500
Laboratorios de instrumentación	700
Naves de máquinas herramientas	300
Oficinas en general	400
Pasillos	50
Salas de trabajo iluminación suplementaria en cada punto	150
Salas de dibujo profesional	500
Salas de tableros eléctricos	300
Subestaciones	300
Salas de venta	300
Talleres de servicio, reparaciones	200
Vestuarios industriales	100

Fuente: Elaboración propia en base a NCH 4:2003

Ahora bien, el logro de la iluminación correcta en lux, dependerá de la potencia de iluminación de los equipos mediad en (lm), la distancia entre ellos y la distancia o altura desde su ubicación al área de uso o trabajo, entre otros. Si bien es cierto se suele modelar el diseño mediante software, el cálculo puede hacerse en forma manual de la siguiente forma.

Para calcular de Lumen a Lux se requieren los siguientes valores:

$$I_v = \frac{L_m}{\Omega}$$

donde:

$I_v$  = Intensidad de luz (Candela - cd)

$L_m$  = Flujo luminoso (Lumen)

$\Omega$  = Ángulo sólido

$$E_v = \frac{I_v}{r^2}$$

donde:

$E_v$  = Lux - iluminancia sobre una superficie (lx)

$I_v$  = Intensidad de luz (Candela - cd)

$r^2$  = El radio o la distancia al cuadrado

Por ejemplo, una bombilla LED GU10 con 320Lm y un HAZ luminoso de 38° y una distancia al suelo de 2.5 metros alcanza iluminar una superficie con un diámetro de 1.7 metros. Un área total de 2.3 metros cuadrados y una intensidad de luz de 934,8 cd (Candela) y una iluminancia de 149,6lx (Lux). Si comparamos este valor con la tabla al final, sería suficiente para alumbrar un dormitorio, pero no suficiente para leer un libro.

El redimensionamiento puede tener como resultado la especificación de una mayor cantidad de equipos o una mayor capacidad de estos en algunos recintos.

- **Altura de iluminación.** El fin de la iluminación artificial es habilitar adecuadamente los espacios de trabajo. La iluminación medida en lux, se ve afectada por la altura, por lo tanto, debe verificarse que se cumpla con el criterio de altura de acuerdo a la norma NCh Elec.4:2003, DS N°594 o recomendado por Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). Una estrategia para minimizar la dotación de lámparas, es eliminar iluminación general indirecta e instalar iluminación directa en las áreas de trabajo. Hay que tener en consideración es que modificaciones en el proceso implicarán revisiones al despliegue de iluminación.

### 3.8.2 Comportamiento del usuario

- **Controlar el encendido de luces en áreas desocupadas.** Esto es parte del comportamiento esperado de los usuarios. Para ello se pueden hacer campañas, despliegue de señalética o generar incentivos de acuerdo al logro de metas de consumo. En su defecto se pueden equipar watt stopper asociados a sensores de movimiento o timers. El uso de luces de sodio y haluros no es conveniente en áreas de uso esporádico pues su tiempo de calentamiento lleva a que se dejen prendidas.
- **Control de iluminación exterior durante el día.** Al igual que en el caso anterior es parte del comportamiento esperado por usuarios. Alternativamente, el uso de timers programados y fotoceldas es una solución económica y confiable.

### 3.8.3 Uso de luz natural

Tradicionalmente el uso de luz natural estaba asociado a ventanas o tragaluces simples, tales como planchas de policarbonato o fibra de vidrio. Hoy hay tragaluces tubulares, tales como SolaTube. Las ventajas del uso de estos sistemas es que filtra los rayos UV e IR, permitiendo transportar la luz natural hasta 15 m. No obstante, este sistema debe estar acompañado de iluminación artificial alternativa, de tal manera de poder suplir la iluminación en ausencia de luz natural.

Para efectos de estimar la inversión, y dada la naturaleza de las edificaciones de la agroindustria hay que considerar se considera un equipo de referencia: TuboSolar K825-625BP Cap. Lumínica: 22,570 Lux., Cobertura: 100 m<sup>2</sup>, considerando 50% bodega (150 lux) y 50% naves de máquinas (300 lux).

Precio: \$1.000.000 con instalación incluida.

Ilustración 35: Equipos de polímero para iluminación natural



(A) SISTEMA EVERLUX EXTERIOR



(B) SISTEMA EVERLUX INTERIOR

Fuente: <https://tubosolar.net/productos/>

### 3.8.4 Iluminación artificial eficiente

Hoy se ha impuesto la iluminación LED como la más eficiente y de más larga vida útil, que en combinación con los costos de energía eléctrica genera el mayor beneficio económico. Además, el color se acerca a la luz natural, con lo cual se puede lograr mejores espacios interiores y exteriores.. A continuación, la tabla muestra diversas tecnologías y sus características respecto a color, lumen/watt, vida útil y precio. Para evaluar el reemplazo de la iluminación actual por una de mayor eficiencia se debe proceder de la siguiente forma (no obstante, cabe señalar que la relación beneficio costo ya ha sido internalizada en las empresas, y en la mayoría se está reemplazando toda la iluminación por LED a medida que va terminando la vida útil de las existentes.

$$\text{Ahorro}_{\text{Anual}} = \left( \frac{\text{Ef. Lumínica}_1}{\text{Ef. Lumínica}_0} - 1 \right) \left( \frac{\text{Vida útil}_1}{\text{Vida útil}_0} \right) \times \text{Pot}_{\text{instalada}} \times \text{Horas}_{\text{anuales}} \times \text{precio}_{\text{energía}}$$

Ef.Lumínica<sub>1</sub>: Eficiencia lumínica de la nueva iluminación  $\frac{\text{lumen}}{\text{W}}$

Ef.Lumínica<sub>0</sub>: Eficiencia lumínica de la antigua iluminación  $\frac{\text{lumen}}{\text{W}}$

Vida útil<sub>1</sub>: Vida útil de la tecnología<sub>1</sub> (hrs)

Pot<sub>instalada</sub>: Potencia total instalada en iluminación (kW)

Horas<sub>anuales</sub>: Horas de funcionamiento de la iluminación por año  $\frac{\text{hrs}}{\text{año}}$

precio<sub>energía</sub>: Precio por cada kWh  $\frac{\$}{\text{kWh}}$

Tabla 21: Características de los tipos de iluminación

TIPO	COLOR	LUMEN/WATT	VIDA ÚTIL (1000 HR)	COSTO (\$/LUMEN)
Incandescente	Amarillo cálido	8-24	0,75-3,5	0,1196
Fluorecente/LED obsoleta	Varios	60-100	10	1,62
Vapor de Mercurio	Blanco azulado, se pone verde con el tiempo	35-55	10-24	14,3
Haluro Metálico	Blanco que decolora en el tiempo	60-110	6-20	0,67
Sodio alta presión	Amarillo naranja	40-125	7,5-24	1,61
Sodio baja presión	Amarillo monocromático	70-180	10-18	8,76
LED eficiente	Varios	220	50	14,700

Fuente: Elaboración propia en base a [www.lumar.es](http://www.lumar.es)

En el caso de tubos fluorescentes existe una amplia gama de combinaciones, que traen como resultado una diferencia de hasta 44% en la eficiencia de iluminación, con vida útil comparables. Para evaluar los recambios se debe considerar el precio de cada tecnología para capacidades de iluminación equivalentes y se estima el ahorro siguiendo un procedimiento similar al anterior:

Tabla 22: Características de ballast

Lámpara	Ballast	Eficiencia comparada con standard c/ballast magnético
Standard	Standard Magnético	100%
Standard	Eficiente Magnético	87%
Standard	Electrónico	75%
Eficiente	Standard Magnético	90%
Eficiente	Eficiente magnético	80%
Eficiente	Electrónico	68%
T8	Ballast regular	56%

Fuente: Elaboración propia en base a [www.lumar.es](http://www.lumar.es)



## 3.9 Conexión eléctrica:

Aunque diferente a una acción de eficiencia energética, a continuación, se presentan algunas medidas que permiten reducir el gasto eléctrico de la empresa.

### 3.9.1 Negociación de contrato

Las empresas con consumos mayores a 500 kW tienen la posibilidad de ser clientes libres, lo cual genera beneficios tarifarios en estos momentos, al menos para los contratos en un horizonte de cuatro años. Se estima que, al cambiar de una posición de regulado a libre, se puede reducir en promedio un 20% el costo de la energía. Como ventaja adicional está la posibilidad de elegir el abastecimiento desde fuentes renovables.

### 3.9.2 Cambio de Tarifa

Los clientes regulados, a diferencia de los libres, acceden a un precio regulado por el estado, el cual es publicado regularmente por la CNE y las empresas distribuidoras de las áreas concesionadas. Las empresas pueden evaluar un cambio tarifario de acuerdo dentro de los segmentos de baja tensión (BT) y alta tensión (AT). Asimismo, cuando es posible, deben revisar su potencia contratada para no incurrir en multas producto de exceso de carga. De acuerdo a las tarifas presentadas en el Capítulo 1, por ejemplo, pasar de tarifa BT 2 o BT3 a BT4 puede generar una disminución de un 20% en la tarifa. De igual modo pasar de AT2 o AT3 a AT4, genera una disminución de un 18% en la tarifa.

### 3.9.3 Desconexión de Transformadores

En general los transformadores son una fuente de pérdida de energía puesto que estos generan pérdidas térmicas, incluso cuando están en standby. Ahora bien, como una buena parte de los procesos de la agroindustria tienen cierta estacionalidad, es del todo recomendable agrupar aquellas cargas estacionales a un transformador y desconectar tal transformador cuando no haya consumo.

Para estimar el ahorro se puede considerar que un 0,6% de la potencia del transformador en kVA.

### 3.9.4 Corte de puntas

La regulación tarifaria define un periodo que comprende desde el 1 de abril al 30 de Septiembre en el cual se grava la conexión de cargas en horario punta, esto es entre 18 y 23 horas. Es así como el cargo por demanda máxima de potencia contratada es del orden de 2.400 (\$/kW/mes), mientras que el cargo por la demanda máxima de potencia contratada leída en horas de punta es del orden de 7.000 (\$/kW/mes). Por lo tanto, cualquier disminución de la carga en horario punta, conocido como corte de punta, tiene impacto directo en la facturación eléctrica.





Algunas de las medidas que se pueden tomar son:

- Generación propia, ya sea por equipos diesel, gas o biomasa.
- Desconexión de cargas: apagar equipos de refrigeración de cámaras, apagar o evitar el traslape de los motores, bombas, compresores o ventiladores principales.
- Almacenar aire comprimido, líquido refrigerante, agua caliente de tal manera de utilizarlos en horarios punta.
- Modificar turnos de tal manera de reducir o eliminar algunas tareas en horario punta.
- La inversión dependerá de la medida tomada, mientras que el ahorro se estima de la siguiente forma.

Por ejemplo, para una reducción de carga en horario punta ( $d_{cep} = 8\text{kW}$ )

$$\text{Ahorro} = d_{cep} \text{ (kW)} \times 7000 \left( \frac{\$}{\text{kW mes}} \right) \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro} = 672.000 \frac{\$}{\text{año}}$$

### 3.9.5 Dimensionamiento de Tableros y Conductores

La mayoría de las plantas ha experimentado crecimiento, tanto desde el punto de vista del nivel de producción como del alcance de las líneas de productos.

Esto ha hecho que las capacidades de los componentes eléctricos se hayan visto exigidas, en algunos casos, más allá de las condiciones normales de diseño. Asimismo las ampliaciones de los circuitos ha llevado a un desbalance en los circuitos trifásicos, lo que provoca aumento de temperatura en ciertos circuitos y por consiguiente mayores pérdidas.

La capacidad de transporte de un conductor se estima con la siguiente expresión:

$$I = fN \times FT \times It \text{ (A)}$$

Donde,

I : Corriente admisible corregida (A)

fN: Factor de corrección por número de conductores.

FT: Factor de corrección por temperatura.

It : Corriente admisible por sección de conductor según tabla disponible en [www.cableseléctricos.cl](http://www.cableseléctricos.cl)



La corriente admisible depende de la temperatura ambiente y la temperatura de servicio. La temperatura de servicio en tanto, depende del criterio de pérdidas máximas consideradas.

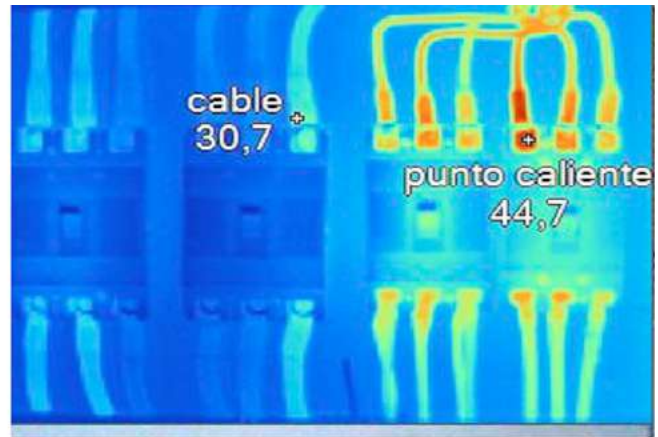
En la medida que los conductores están sometidos a mayor temperatura mayores son las pérdidas por la conducción y aumenta el peligro de incendio.

Estudios previos realizados en la agroindustria realizados por el equipo consultor arrojaron una serie de anomalías en los procesos, los cuales se aprecian en las imágenes termográficas:

Ilustración 36: Equipos de polímero para iluminación natural



(A) PUNTOS SOBRECALENTADOS EN TABLERO



(B) CONDUCTORES SUBDIMENSIONADOS

Fuente: Termografía producto de auditorías realizadas

En este caso, es posible estimar en 1% la reducción de la potencia asociada a un circuito en particular, mientras que la inversión corresponderá con los metros de cable y tipo, que hay que reemplazar.

Antes de reemplazar cables, es preciso hacer un levantamiento de cargas y una redistribución de los circuitos para asegurarse que no hay circuitos en desventaja. Esto se puede hacer tomando mediciones de tensión y corriente, o bien haciendo uso de cámara termográfica.

Como criterio de priorización, se reemplazará los cables asociados a las mayores cargas, que presenten mayor temperatura y que sean más largos, pues son los que serán responsables de las mayores pérdidas.

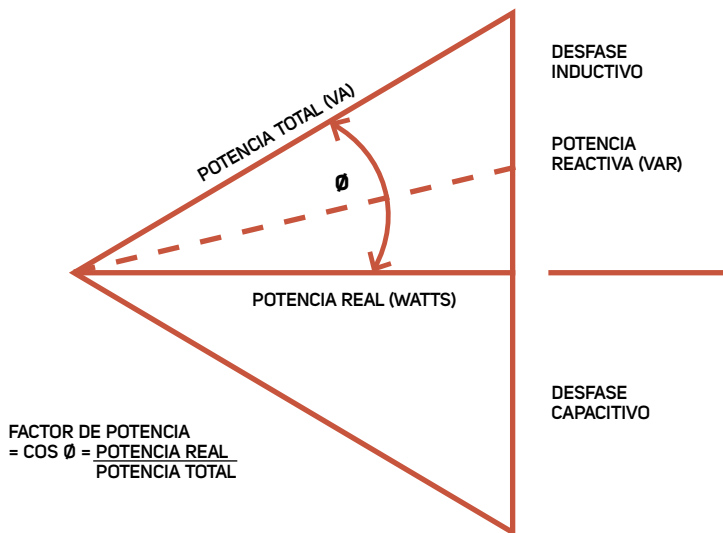
### 3.9.6 Banco de condensadores

El factor de potencia o coseno de  $\phi$  corresponde a la relación entre las potencias activa y aparente, siendo  $\phi$  el ángulo que forman los fasores de corriente y tensión, el que es determinado por la impedancia del sistema eléctrico.

En cargas puramente resistivas  $FP=1$ , sin embargo, cuando hay elementos inductivos o capacitivos,  $FP$  está atrasado o adelantado.

Los motores, por ejemplo, son cargas inductivas lo que trae como consecuencia una potencia reactiva positiva. Es decir, solo una parte de la energía es efectivamente convertida en trabajo.

Ilustración 37: triángulo del factor de potencia



Fuente: Elaboración propia en base a <https://www.nrcan.gc.ca/energy/products/reference/15297>

En Chile, la legislación eléctrica vigente obliga a los consumidores, frente a los distribuidores, a no bajar su FP de 0,93 inductivo. Si no cumplen con dicha condición, se recarga en 1% de la factura total, por cada centésima que este factor baje de 0,93. Este tipo de recargo relaciona los consumos mensuales de energía activa y reactiva a través del Factor de Potencia medio mensual, calculado según la siguiente fórmula (donde el nominador es la energía real y el denominador corresponde a la energía aparente):

$$FP = \frac{kWh_{(mes)}}{\sqrt{kWh_{(mes)}^2 + kVArh_{(mes)}^2}}$$

La mejor solución es controlar y compensar las cargas inductivas en su origen, lo que permite la disminución de pérdidas en conductores y caídas de tensión, sin embargo, en la industria agroalimentaria, donde coexisten un elevado número de motores, se puede compensar la potencia reactivas mediante una corrección centralizada del factor de potencia.

En la figura, el vector vertical sobre la línea de potencia real representa el componente inductivo y el vector horizontal representa la potencia real. El vector hipotenusa es igual a la raíz cuadrada de la suma de los vectores reales y reactivos al cuadrado (Ver la ecuación que sigue a la Figura). El vector vertical que apunta debajo de la línea horizontal representa la reactancia capacitiva. Cuando la reactancia capacitiva es igual a la reactancia inductiva, los dos vectores verticales se anulan entre sí, dejando solo el componente de potencia real (es decir, factor de potencia unitario). Sin embargo, si la capacitancia excede la inductancia, se producirá un factor de potencia que podría ocasionar sobretensión y problemas de armónicos. Para evitar esto, los condensadores deben encenderse y apagarse para coincidir en la entrada de servicio si es que no es posible instalarse a la carga del motor. (Natural Resources Canada 2018).

Para efectos del cálculo de la inversión y los ahorros se proceden de la siguiente forma:

La inversión corresponde a aproximadamente 3 veces la multa mensual por consumo de potencia reactiva.

El ahorro anual corresponde a la sumatoria de las multas mensuales que se pagan por concepto de factor de potencia < 0,93.





## 3.10 Autogeneración mediante fuentes renovables

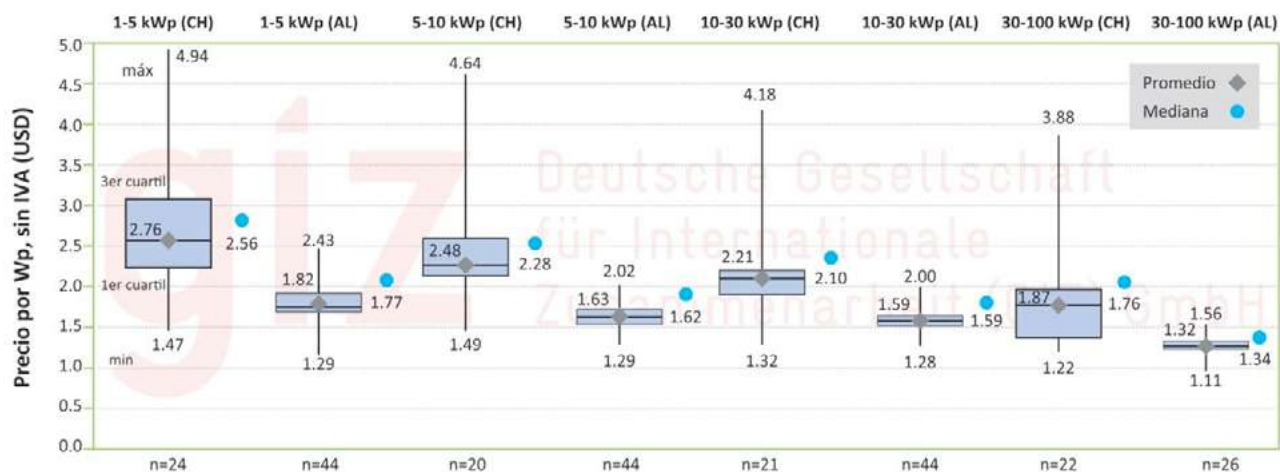
Si bien las fuentes de energía son diversas, en el contexto de la autogeneración por parte de empresas agroindustriales, las más adecuadas serían la solar y la biomasa. En cuanto a la energía solar se puede considerar la energía fotovoltaica y la solar térmica, mientras que en caso de la biomasa son aplicables principalmente la cogeneración con combustión directa y la cogeneración con biogás.

### 3.10.1 Uso de energía solar PV

La autogeneración fotovoltaica con inyección a la red se sustenta en una tecnología madura y un marco regulatorio. La tecnología que predomina en el mercado y que aquí se revisa corresponde a módulos policristalinos. En el caso de plantas menores a 100 kWp rige la Ley 20.571, conocida como net billing, en la cual un productor de energía a partir de una fuente renovable o cogeneración puede inyectar sus excedentes a la red y recibir una retribución, cuyo precio es regulado, por parte de la distribuidora. Otra alternativa sobre 100 kWp, es la constitución de un PMGD (Pequeño Medio de Generación Distribuida), el cual consiste en plantas menores a 9 MW, que se conectan a nivel de distribución y que pueden ser de cualquier fuente. Si la fuente es renovable, como lo es la fotovoltaica, entonces esta recibe el nombre MGNC (medio de Generación no Convencional).

En el tramo 1 kW hasta 100 kW las economías de escala son relevantes, mientras que sobre esa cifra estas son menos incidentes. En la misma se observa la diferencia que existe en la dispersión de precios entre el mercado chileno y el mercado alemán. En el mercado alemán los precios unitarios no solo son menores, sino que tienen una menor dispersión, en donde opera el mecanismo de mercado. Por lo tanto, se recomienda hacerse asesorar por organismos confiables o en su defecto realizar varias cotizaciones antes de tomar una decisión de inversión.

Ilustración 38: Precio neto por Wp instalado en sistemas PV, GIZ(2017)



Fuente: Índice de precios de sistemas FV GIZ (2017)

Cabe señalar que la inversión no necesariamente debe ser acometida por la empresa, existen los modelos ESCO y créditos especiales para el caso que se revisan en el capítulo 5.

Para efectos de analizar la viabilidad de una planta solar PV, se procede con el ejemplo de una planta de 100 kWp.

1. Inversión: En este caso, de acuerdo a la, el valor menor posible de la inversión es de 1,22 (USD/Wp) instalado (llave en mano), lo que equivale a \$780.000 netos por kWp instalado (tasa de cambio 1USD=640CLP).
2. Estimación de generación anual: La generación susceptible de ser lograda en buenas condiciones de instalación sería de 1.500 (kWh/kWp), por lo tanto la generación anual sería de 150.000 kWh,
3. Valorización de la energía generada: si toda la energía ha de ser autoconsumida corresponde asignar el precio de la energía según la tarifa del tipo de conexión. Para el caso consideramos el precio de la energía de los clientes BT 4.3, equivalente a 85 (\$/kWh), y mermas de 3%, lo cual lleva a ahorros anuales por \$12.367.500 netos. En el caso que parte de la energía se inyectada procede asignar el precio ponderado de la energía que se deja de consumir de la red y la que es inyectada, pues esta última es distinta-ver tarifas publicadas por la distribuidora correspondiente para consumo e inyección).
4. Retorno de la inversión: para simplificar se considera que el decrecimiento de la producción y el costo de mantenimiento es igual al aumento del precio de la energía. Por lo tanto, se construye un flujo a 10 años con el monto de inversión (\$78.080.000) en el año 0 y flujos positivos anuales (\$12.367.500). Con esto se calcula la tasa interna de retorno TIR (9,37%) y el periodo de retorno de la inversión (7 años). No obstante, cabe señalar que la vida útil de una planta PV es superior a 25 años, con lo cual la TIR a largo plazo es superior.

Alternativamente para los pasos 1 y 2 se puede recurrir a la herramienta del Ministerio de Energía denominada Explorador Solar <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

Visita: La sección Generación Ciudadana en la web de la SEC y averigua como implementar un proyecto de generación distribuida (sistemas FV hasta 100kWp)

Visita: La sección Pequeños Medios de Generación Distribuida (PMGD) en la web de la SEC y averigua como implementar un proyecto de generación FV superior a 100kWp.



### 3.10.2 Uso de energía solar térmica

En el caso de la energía solar térmica existe un amplio abanico de tecnologías y combinaciones. En general pueden ser clasificadas en instalaciones de baja temperatura (<99°C), donde se usan colectores solares, y de alta temperatura, (>99°C), donde se usan concentradores solares. Aquí no referimos a los colectores solares, por ser la tecnología más usada y donde existen mayores capacidades técnicas para su implementación. En el caso de los concentradores, en que uno o varios colectores centrales reciben la reflexión de un arreglo de superficies reflectantes direccionadas al colector, en general, se trata de centrales de generación que usan vapor para generar electricidad, y para lo cual se requiere amplias superficies para su implementación. No obstante, se recomienda monitorear la penetración de esta tecnología en el país, pues podría tener un espacio en la agroindustria.

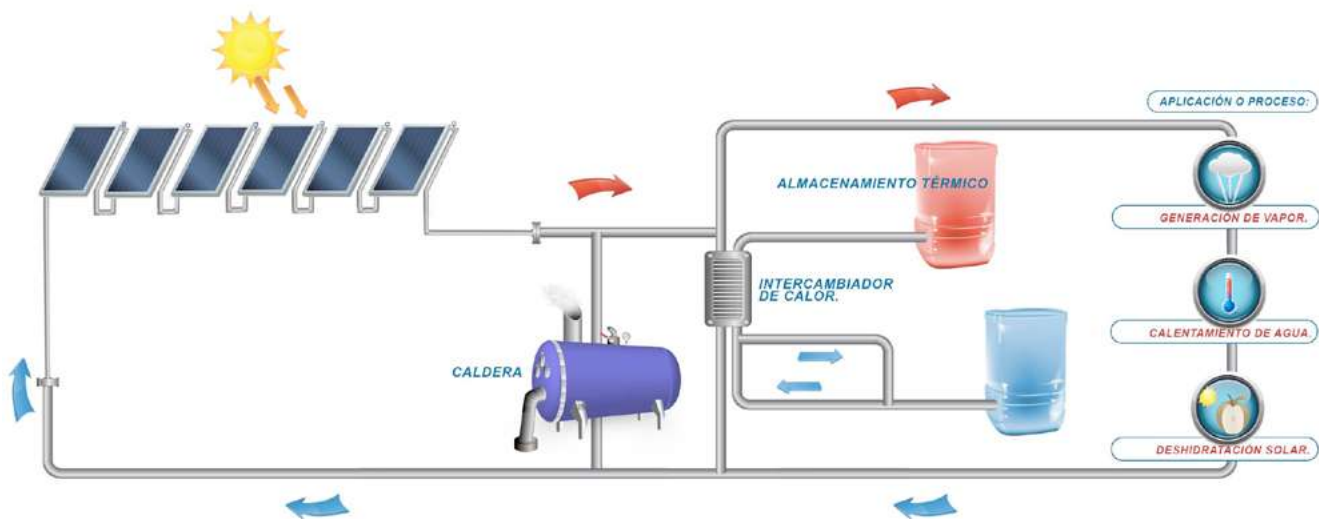
Otra tecnología asociada a la energía solar térmica que es conveniente de monitorear es la refrigeración solar, la cual consiste en el uso de calor para generar frío a través de ciclos de absorción y adsorción, que difieren del convencional ciclo de compresión, que demanda principalmente energía eléctrica. El uso de esta tecnología aún no es conveniente económicamente si se le compara con la refrigeración convencional, debido al alto costo de inversión que conlleva.

Una instalación solar térmica suele tener un retorno a la inversión más atractivo que una instalación PV, puesto que la eficiencia global del sistema es superior, cuando se considera la transformación de la radiación solar en energía útil. Para el caso de la energía solar térmica de baja temperatura esta puede ser superior al 30%, mientras que en el caso del PV suele no superar el 16%. Sin embargo, la desventaja del uso de colectores es que a diferencia del caso PV en que los excedentes pueden ser inyectados al sistema logrando un ingreso por este concepto, en el caso solar térmico la energía debe ser consumida por la empresa o bien disipada, lo que genera inconvenientes cuando la estacionalidad de la producción de energía solar, no coincide con la estacionalidad de la demanda por energía térmica de parte de la empresa. La oscilación día noche suele manejarse bien por medio de depósitos acumuladores, sin embargo, las diferencia invierno verano no son susceptibles de manejar. En consecuencia, estos sistemas suelen dimensionarse de acuerdo al máximo consumo en el momento de mayor producción (diciembre-enero).

En cuanto a las tecnologías de colectores de baja temperatura existen diversas, pero predominan en la industria los planos, tubos al vacío de flujo directo y tubo al vacío heat pipe. Las prestaciones son distintas, pero los de tubo al vacío suelen tener una mayor eficiencia debido a: menores pérdidas por intercambio de calor al ser directo, mayor aislación respecto del ambiente y una mejor exposición a la radiación.

Los componentes principales de una instalación de este tipo se observan en la Ilustración 39.

Ilustración 39: Esquema instalación solar industrial



Fuente: Elaboración propia en base a <http://www.seenergymexico.com>

Para efectos de evaluar la incorporación de energía solar térmica se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

1. Capacidad de los colectores. La capacidad se estima con simulación mediante software. Sin embargo, se puede tener una aproximación considerando dos parámetros: superficie disponible para instalación de colectores y la demanda típica de energía térmica diaria en el periodo de mayor producción solar (diciembre-enero). La primera es una restricción mientras que la segunda determina el tamaño que más beneficio trae consigo, por ejemplo, puede ser el precalentamiento del agua de reposición de la caldera. Teniendo en cuenta una orientación Norte y una inclinación optimizada de los colectores de 36° (para la región) se tiene una radiación global diaria de 7,5(kWh/m<sup>2</sup>/día) para los meses diciembre y enero. A esto debe descontarse la eficiencia del sistema 40%, lo que significa que el campo de colectores aprovecha 7,5\*0,4= 3(kWh/m<sup>2</sup>/día). Por lo tanto, si la demanda térmica diaria en ese periodo es de 430 kWh, el campo de colectores no debiese ser de 430/3=143m<sup>2</sup>
2. Capacidad del depósito. La relación entre el volumen del depósito en litros y el área de los colectores en m<sup>2</sup> (V/A), debe estar entre 40 y 180. Si el consumo es diurno e instantáneo el almacenamiento puede ser mínimo V/A=40, mientras que en el caso que la demanda se concentre en ciertos momentos del día V/A=75, y si ésta se presenta en tan solo unos días de la semana V/A=180. Para el caso de ejemplo, usaremos V/A=75, lo que significa un volumen de depósitos de 75\*143, aproximadamente 10.000 litros.
3. Inversión. Para efectos de calcular la inversión se puede considerar 90.000 (\$/m<sup>2</sup>) de colector y 1.300 (\$/litro) de estanque. A lo anterior se agrega un 30% correspondiente otras partes e instalación. Para el caso de ejemplo la inversión sería (143\*76.000+12.00\*10.000) \*1,2= 27.441.600 pesos neto.



4. Estimación de la producción anual: La irradiación recibida por los colectores al año estimada para la región es de 1.500 (kWh/m<sup>2</sup>), por lo tanto, para el caso el campo de colectores recibe  $143 \times 1.478 = 214.500$  kWh. Considerando la eficiencia de 40% la energía aprovechable equivale a 85.800 kWh.
5. Valorización de la energía producida: De acuerdo al combustible que se venga a reemplazar y la tarifa de este se puede estimar el valor del ahorro anual. Recurrimos a las tarifas contenidas en el Capítulo 2 y tomamos al gas licuado como referencia, cuya tarifa es de 70 USD/MWh equivalentes a 45 (\$/kWh). Con esto el ahorro anual es de  $85.800 \times 45 = 3.843.840$  pesos
6. Retorno de la inversión: Se estima un costo de mantenimiento anual de 1% de la inversión (\$274.416) y se construye un flujo a 15 años con el monto de inversión (\$27.441.600) en el año 0 y flujos positivos anuales de  $(3.843.840 - 274.416)$ . Con esto se calcula la tasa interna de retorno TIR (9,81%) y el periodo de retorno de la inversión (8 años).



Visita el explorador solar del Ministerio de energía para conocer el recurso solar y modelar tu sistema solar PV y térmico. <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

### 3.10.3 Combustión directa de Biomasa

La diversidad de los diferentes materiales que incluye el concepto de biomasa permite plantear varios procesos de transformación (físicos, fisicoquímicos, termoquímicos o biológicos) de la biomasa en energía. Los biocombustibles sólidos, que tienen el potencial de reemplazar cantidades significativas de combustibles fósiles, son los más utilizados. En la tabla 23 se especifican las características de los biocombustibles sólidos.

Tabla 23: Características de biomasa lignocelulósica

CARACTERÍSTICA	PELLETS	BIOMASA TRITURADA	ASTILLAS
Densidad aparente	Mínimo 650 (kg/m <sup>3</sup> st)	Aprox. 215 (kg/m <sup>3</sup> st)	Aprox. 215 (kg/m <sup>3</sup> st)
Contenido de Humedad	< 10 %	25 - 40 %	25 - 40 %
Granulometría	Homogénea	Heterogénea	Homogénea
Contenido de Cenizas	< 0,5 %	> 2 %	< 2 %
Poder Calorífico Inferior	3120 a 3250 kWh/m <sup>3</sup> st	800 a 850 kWh/m <sup>3</sup> st	800 a 850 kWh/m <sup>3</sup> st

Fuente: Elaboración propia en base a fuentes secundarias revisadas

Debido a esas características normalmente las astillas y la biomasa triturada se utilizan en aplicaciones de mayor potencia que los pellets.

Tabla 24: Características de combustibles

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	COMBUSTIBLES	
	PELLETS	ASTILLAS / BIOMASA TRITURADA
Accesibilidad	Áreas urbanas	Áreas urbanas y periferias
Requerimiento de mantenimiento	Menor requerimiento	Mayor requerimiento
Disponibilidad de espacio	Limitado	Sin restricción
Características específicas del combustible	Se requiere combustible estandarizado	Se pueden utilizar combustibles de diferentes tamaños y humedades
Se pueden utilizar residuos forestales y madereros	No	Sí
Potencia	<150 kW	>150 kW
Horas de funcionamiento	<1800 horas	>1800 horas

Fuente: Disponibilidad de residuos lignocelulósicos agrícolas y municipales, en la región del Maule (2017)

Para el aprovechamiento de los biocombustibles sólidos se pueden instalar quemadores (sin necesidad de cambiar la caldera completa) o calderas (con parrilla fija o parrilla móvil) de biomasa. En la siguiente tabla se comparan las diferentes opciones tecnológicas:

Tabla 25: Comparación de opciones tecnológicas

TECNOLOGÍA	COMBUSTIBLE	HUMEDAD	CENIZAS	PRODUCTO	POTENCIA [KW]
Quemador	Pellets	Seco	<1%	Llama directa	50-800
Caldera con parrilla fija	Pellets / Astillas	Seco	<1%	ACS / Calefacción / Vapor	50-3000
Caldera con parrilla móvil	Astillas / Biomasa triturada	Húmedo	Hasta 5% o más	ACS / Calefacción / Vapor	Desde 150

Fuente: Disponibilidad de residuos lignocelulósicos agrícolas y municipales, en la región del Maule (2017)

Tabla 26: Poder calorífico de residuos agroindustriales.

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO INFERIOR [KJ/KG]
Bagazo húmedo	10.500
Bagazo seco	19.200
Cascarilla de arroz	13.800
Corteza escurrida	5.900
Paja seca de trigo	12.500
Paja seca de cebada	13.400
Serrín húmedo	8.400
Viruta Seca	13.400
Hueso de aceituna	16.920

Fuente: Cengel 3ra edición

En la región hay abundancia de residuos de origen lignocelulósico, sin embargo, dada la actividad agrícola se dispone de un stock de biomasa no tradicional susceptible de ser utilizado. En la Tabla 26 se muestran los poderes caloríficos inferiores para una serie de residuos agrícolas.

Los desechos pueden tornarse relevantes al considerar su potencial energético. De acuerdo al estudio “Disponibilidad de residuos lignocelulósicos agrícolas y municipales, en la región del Maule” (2017), en la región existe una gran cantidad de desecho agrícola y agroindustriales. La Tabla 27 muestra que existe en total 1.540.804 (ton/año) lo que a una tasa de conversión de 1,63 (MWh/ton), equivalen a 2.511.511 (MWh/año), lo cual supera la demanda térmica total de la agroindustria regional. Estos desechos son susceptibles de ser utilizados para producción energética de biomasa. Para ellos existen diversas opciones: producción de pellet, briquetas, combustión directa o producción de gas. Las diferentes formas de uso y sus condiciones son presentadas más adelante en las áreas potenciales de eficiencia energética y energías renovables.

Tabla 27: Tabla: Generación de residuos (ton/año) por cultivo y provincia

PROVINCIA	CEREALES	FRUTALES MAYORES	FRUTALES MENORES	VIÑAS Y PARRONALES	TOTAL
Talca	82.479	64.057	5.227	47.917	199.681
Cauquenes	26.029	402	3.251	16.682	46.365
Curicó	45.123	156.102	24.600	53.729	279.555
Linares	861.291	82.129	30.810	40.970	1.015.201
Total	1.014.922	302.691	63.889	159.300	1.540.804

Fuente: Disponibilidad de residuos lignocelulósicos agrícolas y municipales, en la región del Maule (2017)

Visita: <http://www.cogeneracioneficiente.cl> y averigua como implementar un proyecto de cogeneración eficiente

Visita la sección Cogeneración Eficiente en la web de la SEC y conoce la normativa vigente



En general, hay dos medios convencionales para utilizar esta biomasa, la combustión directa y la producción de biogás. A continuación, se revisa el procedimiento para evaluar la combustión directa, con y sin cogeneración.

La ventaja económica del uso de la biomasa en combustión directa, se basa en su bajo costo de operación dado el precio de ésta como desecho. Es así como el costo de usar bagazo húmedo para fines energéticos, equivale al uso de astillas de madera húmedas, esto es 28 (USD/MWh). Este valor es equivalente al de la leña, pero más alto que el carbón cuando la caldera es operada por la misma empresa. No obstante, lo anterior se recomienda solo bajo ciertos niveles de humedad, ya sobre ellos puede ser una combustión ineficiente.

Hay que tener en consideración sí para ello un alto costo de inversión. A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo para el caso, el cual ha sido basado en plantas de referencia, una de Spittelau (Austria) y dos de Schleswig-Holstein (Alemania).

- 1) Disponibilidad de biomasa. Por lo general, esta información está disponible a partir de los mismos registros de la empresa y una prospección del entorno. Consideraremos para el caso (10.000 t/año) de bagazo seco.
- 2) Cálculo de producción de energía anual: Conocido el poder calorífico y eficiencias del sistema, se multiplican las toneladas anuales por 1,63 y se obtienen 16.300 MWh térmicos/año.
- 3) Horas de operación anuales. Para el caso se considera 365 días, 24 horas y un factor de planta de 0,8, lo que significa 7.008 horas.
- 4) Cálculo de potencia. Se procede a dividir la energía anual por las horas de operación y la correspondiente eficiencia térmica del equipo (85%). Entonces tenemos  $16.300 / (7.008 * 0,8) = 2,73$  MW térmico
- 5) Estimación de beneficios y costos para el caso sin cogeneración
  - a) Beneficios: se estima la diferencia entre el precio del combustible biomasa y el original. Tomamos el caso de fuel-oil 6, cuya diferencia respecto de la biomasa es de 18 USD/MWh, de acuerdo a la tabla del capítulo 2. Luego se multiplica esta cifra por la producción anual, obteniendo 298.362 USD/año.
  - b) Costo de operación: se calcula multiplicando la capacidad de la planta en MW por 12.411 USD, lo que para el caso significa USD33.874.
  - c) Costo de inversión: se estima multiplicando 1.204.714 por la potencia de la planta en MW, elevada a 0,6. Para el caso el costo de inversión es USD2.200.485.
  - d) Se construye un flujo de caja a 15 años con el costo de inversión el año cero y la diferencia entre el beneficio y costo para los demás años. Para el caso se obtiene una TIR de 8,47% y un retorno de la inversión en 9 años.
- 6) Estimación de beneficios y costos para el caso con cogeneración
  - a) Beneficios: procedemos al igual que el caso sin cogeneración para estimar los beneficios por energía térmica, salvo que en este caso solo un 86% de la energía térmica es aprovechada obteniendo 256.094 USD/año. Por otra parte, se produce un 14% de energía eléctrica, el cual se valoriza de acuerdo al precio de la empresa por MWh. Para el caso consideramos 111 USD/MWh que corresponde al promedio regional AT4.3. El beneficio se expresa así  $16.258 * 0,14 * 111 = 255.559$  USD/año.
  - b) Costo de operación: se calcula multiplicando la capacidad de la planta en MW por 12.411 USD, lo que para el caso significa USD33.874, al igual que el caso anterior.
  - c) Costo de inversión: se estima multiplicando 2.455.633 por la potencia de la planta en MW, elevada a 0,6. Para el caso, el costo de inversión es USD4.485.365.
  - d) Se construye un flujo de caja a 15 años con el costo de inversión el año cero y la diferencia entre el beneficio y costo para los demás años. Para el caso se obtiene una TIR de 6,53% y un retorno de la inversión en 10 años.

En ambos casos cabe señalar que, por economías de escala, plantas de menor tamaño obtendrán un desempeño económico notoriamente inferior.

Por otro lado, los costos van a variar de acuerdo al tipo de biomasa que se utilice y a la disponibilidad de equipos y piping existentes que se puedan utilizar. Se debe implementar un silo que almacene el combustible en condiciones adecuadas y considerar la preparación del combustible (secado, clasificado, triturado). El volumen mínimo recomendado para el silo es el equivalente para almacenar suficiente combustible para abastecer la demanda de los 15 días de mayor consumo del año y este debe instalarse lo más cerca posible de la caldera. De esa manera, se puede automatizar la alimentación de la caldera.

En cuanto al circuito hidráulico, si este se encuentra en buenas condiciones no es necesario cambiarlo, suponiendo una menor inversión. Sin embargo, es importante implementar un sistema de control para garantizar la eficiencia energética de la tecnología.



# 4. Casos de estudio

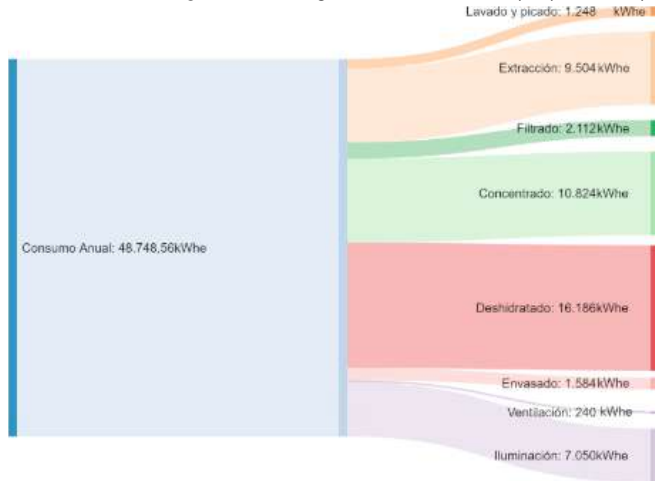
A partir, de las medidas de eficiencia energética planteadas en el capítulo anterior y considerando la caracterización realizada a diversas empresas del sector agroalimentario del Maule, se plantean una serie de casos prácticos de estudio, los cuales permiten ejemplificar la evaluación de las medidas. Asimismo, se evalúan costos y rendimientos económicos de cada una de ellas.

## 4.1 Pequeña empresa de extractos naturales

Haciendo uso de diagramas Sankey es posible analizar de manera gráfica el consumo energético. En la Ilustración 40 se aprecia que el proceso de deshidratado en conjunto con la extracción y concentrado acaparan el mayor nivel de gasto eléctrico en la empresa; esto principalmente ocasionado por motores y bombas.

Por esto, y considerando este gráfico como un análisis de Pareto, es posible focalizar las acciones de mejora en eficiencia energética en aquellas actividades de mayor consumo. De la misma forma y como proceso secundario, también se advierte que el ítem de iluminación, aun cuando no corresponde directamente al proceso, también resulta ser un importante consumidor eléctrico.

Ilustración 40: Diagrama Sankey consumo eléctrico pequeña empresa de extractos naturales



Al igual que en el caso eléctrico, se puede elaborar un diagrama Sankey para el consumo térmico, pero dado que el gasto energético térmico solo ocurre en el concentrado, éste es omitido.

Esta planta es un proceso típico de concentración, al cual se añade un proceso de secado al final de la línea. En general en estas plantas, los consumos eléctricos están dados principalmente por las bombas de proceso y otros motores. Consecuente con lo anterior se analizan propuestas relacionadas con motores, el proceso térmico y el tratamiento del factor de potencia.

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

### 4.1.1. Cambio de motores e instalación de variadores de frecuencia

En primer lugar, se presenta los cambios planteados para los motores, tanto el cambio de equipos como la implementación de variadores de frecuencia. Para ello se toman los dos motores principales, el extractor de 7kW y la bomba de vacío de 11kW. En el caso de los variadores de frecuencia se escoge a aquellos de carga variable tales como extractor, alimentador de extractos y mezcladores de pulpa (Tabla 28 y la Tabla 29).

Tabla 28: Motores a reemplazar y flujo de caja

REEMPLAZO DE MOTORES ESTÁNDAR CON MOTORES DE ALTA EFICIENCIA									
Equipos	Cantidad	Potencia (kW)	Funcionamiento (hr/año)	Tipo	Reducción consumo	Tarifa eléctrica (\$/kWh)	Ahorro (\$/ año)	Horizonte (años)	Inversión (\$)
Extractor	1	7,5	1.920	IE2	7%	187	183.600	10	507.955
Bomba de vacío	1	11	960	IE2	4%	187	73.527	10	745.000
FLUJO DE CAJA									
Años									
0	1	2	3	4	5				
-\$1.252.955	\$257.127	\$257.127	\$257.127	\$257.127	\$257.127				
TIR (5 años)	0,86%								
Payback	5 años								
*Observar que la TIR conjunta es baja, la cual es afectada por el número de horas de funcionamiento de la bomba de vacío. Si se considera solo el motor del extractor, la rentabilidad aumentará.									

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Tabla 29: Equipos a aplicar variador de frecuencia y flujo de caja

IMPLEMENTACIÓN DE VARIADORES DE FRECUENCIA.							
Equipos	Cantidad	Potencia (kW)	Funcionamiento (Hr/año)	Reducción consumo	Ahorro (\$/año)	Horizonte (\$/año)	Inversión
Extractor	1	7,5	1920	25%	673.200	10	347.967
Alimentación extractos	1	2,2	480	25%	26.664	10	286.916
Mezcladores de pulpa	3	2,2	1440	25%	171.072	10	860.748

Flujo de Caja					
años					
0	1	2	3	4	5
-\$1.495.631	\$870.936	\$870.936	\$870.936	\$870.936	\$870.936
TIR (5 años)	50%				
Payback	2 años				

Al analizar las opciones estudiadas, es posible definir que, para optimizar la eficiencia de los motores en la línea de proceso, la mejor opción corresponde a instalar variadores de frecuencia, los cuales permiten reducir el gasto eléctrico anual de la empresa en un 9,6%, impacto significativamente mayor al recambio de motores a equipos más eficientes, que solo reduce el consumo en un 2,8%.

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

## 4.1.2. Aislación térmica

Como segunda medida se plantean propuestas para el proceso térmico de la empresa, realizando una aislación para el concentrador e implementando un intercambiador de calor para recuperar la energía de los condensadores. Lo primero debido a que las chaquetas del equipo no poseen aislación térmica y lo segundo como medida de optimización energética del proceso.

Para el concentrador, en las Tabla 30 y Tabla 31 se presentan los parámetros de cálculo de calor perdido en el equipo, mientras que, en la Tabla 32 se presenta el valor del calor perdido y el ahorro que se puede generar al implementar la medida propuesta en el concentrador, finalmente en la Tabla 33 se presenta el flujo de caja para el caso, el cual demuestra el significativo impacto de este tipo de medidas, que pueden poseer un periodo de retorno de inversión dentro del primer año.

Tabla 30: Características del concentrador

MEDIDAS DE CONCENTRADOR		
Manto S	6,79	m2
Base inferior	1,13	m2
Base superior	1,13	m2
Superficie Total	9,05	m2
Radio exterior r2	0,60	m
Radio interior r1	0,55	m
Conductividad acero inoxidable	16,30	W/m K

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Tabla 32: Resultados de aplicar una aislación al concentrador

RESULTADOS		
Calor perdido ( $Q = dT/R * S$ )	5	kW
Reducción de pérdidas con solución (90%)	4,4	kW
Energía ahorrada	4.224,4	kWh
Ahorro anual	189.103	\$/año
Inversión	126.665	\$

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Tabla 31: Parámetros para el cálculo del calor perdido en concentrador

PARÁMETROS		
dT	60	Temperatura (K) entre el interior y el exterior del concentrador
R	0,083	Es la suma de Ri+R1+Ro
Ri	0,012	Resistencia térmica en convección interior (m2 K/W)
R1	0,001	Resistencia térmica en conducción del acero inox. (m2 K/W)
Ro	0,071	Resistencia térmica en convección exterior (m2 K/W)
hi	80	Coefficiente de transferencia de calor vapor acero inoxidable (W/m2)
Ai	0,950	área interior (m2), obtenido con radio interior r1
hi	16	Coefficiente de transferencia de calor del acero inoxidable al aire (W/m2)
Ai	1,131	área interior(m2), obtenido con radio interior r2

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Tabla 33: Flujo de caja de implementar medida de aislación en concentrador

Flujo de Caja					
años					
0	1	2	3	4	5
-\$126.665	\$189.103	\$189.103	\$189.103	\$189.103	\$189.103
TIR (5 años)	147%				
Payback	< 1 año				

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

### 4.1.3. Recuperación de calor en condensador

Para la recuperación de calor en condensadores, se plantea el uso de un intercambiador de calor que permita aprovechar la energía contenida en el condensado, para luego ser utilizado en el precalentamiento del agua requerida en el mismo proceso. En la Tabla 34 se presenta dónde están presentes las pérdidas de calor en estos equipos y en la Tabla 35, el impacto de implementar la propuesta y el flujo de caja, el cual muestra lo interesante que puede resultar implementar este tipo de medidas de eficiencia energética.

Tabla 34: Pérdidas de calor existentes en condensador

PÉRDIDAS DE CALOR EN CONDENSADOR		
Tuberías	3%	Fittings sin aislación
Concentradores	3%	Equipos sin aislación
Agua de enfriamiento	47%	Agua de la red que se usa en circuito abierto
Aire saturado	47%	Aire saturado succionado por la bomba de vacío y descargado al ambiente
Inversión	126.665	\$

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Tabla 35: Detalle de implementación de intercambiador de calor

Recuperación de calor en condensador									
Equipo	Temperatura salida condensador (°C)	Temperatura después del intercambiador (°C)	Energía ahorrada (kWh/año)	Precio alternativo GLP	Ahorro de agua (m3/año)	Precio agua (\$/m3)	Ahorro (\$/año)	Horizonte (años)	Inversión (\$)
Intercambiador de placas agua-agua para ACS	50	15	53.994	45	1.330	1.000	3.746.954	10	873.600
Flujo de Caja									
años									
0	1	2	3	4	5				
-\$873.600	\$3.746.954	\$3.746.954	\$3.746.954	3.746.954	3.746.954				
TIR (5 años)						399,87%			
Payback						< 1 año			

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Para la estimación del calor perdido por falta de aislación se utilizó la fórmula  $Q = dT/R * S$ , donde dT es la temperatura entre el interior y el exterior del concentrador en K, R es la resistencia térmica de la envolvente y S, la superficie de la envolvente en m2.

$$R = R_i + R_1 + R_o$$

$$R_i = 1/(h_i A_i), R_1 = \ln(r_2/r_1)/(2\pi K_1 L), R_o = 1/(h_o A_o)$$

### 4.1.4 Corrección de factor de potencia

Uno de los recurrentes problemas de las pequeñas empresas de la agroindustria, corresponde al alto precio monómico pagado por cada kWh. Lo anterior causado por multas de factor de potencia y cargos de potencia presente en punta.

En este caso, para tratar el problema de factor de potencia en la empresa, se propone la instalación de un banco de condensadores. En la Tabla 36 se aprecia los parámetros asociados a la propuesta y utilizados en el dimensionamiento, además del flujo de caja correspondiente.

La corrección de este tipo de problemas suele poseer un retorno de la inversión menor a 6 meses, ya que la multa asociada por factor de potencia, está dimensionada mensualmente como un 33% del costo de la solución.

Esta medida, aun cuando no corresponde a una acción de eficiencia energética, sino más bien de gestión de la facturación, puede generar un ahorro en el gasto en energía eléctrica de esta empresa, correspondiente al 24,6% del monto total anual pagado.

Tabla 36: Detalle de implementación de banco de condensadores

BANCO DE CONDENSADORES PARA REDUCCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA						
Multa mensual	Multa mensual (\$)	Ahorro (\$/año)	Horizonte (años)	Inversión (\$)		
46%	186.869	2.242.434	10	560.608		
Flujo de Caja						
años						
0	1	2	3	4	5	
-\$560.608	\$2.242.434	\$2.242.434	\$2.242.434	\$2.242.434	\$2.242.434	
TIR (5 años)						399,87%
Payback						< 1 año

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Finalmente, es posible concluir que, aun cuando existan múltiples medidas de eficiencia energética, su implementación deberá ser priorizada de acuerdo al periodo de retorno de la inversión y los costos asociados. Ya que pequeñas medidas y de bajo costo, pueden generar mayores impactos que un cambio tecnológico, tal como se revisó en la implementación de motores de alta eficiencia.



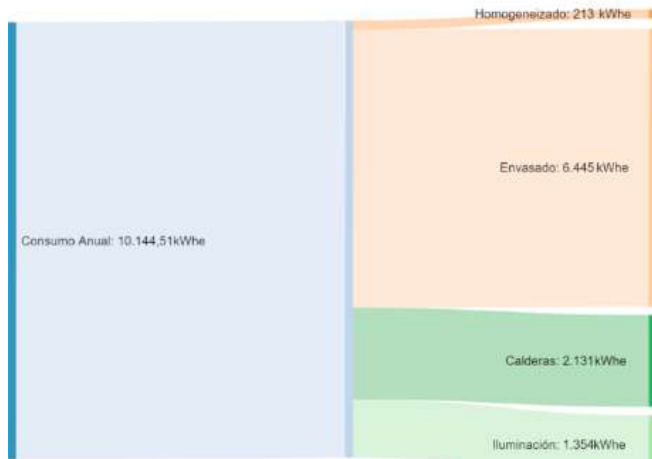




## 4.2 Pequeña empresa de elaboración de jugos

Utilizando el diagrama Sankey para el presente caso, se aprecia que es el proceso de envasado el que posee el mayor consumo de energía eléctrica, principalmente por la utilización de calefactores eléctricos para calentar agua. Además, la caldera y a la iluminación son consumidores eléctricos también importantes.

Ilustración 41: Diagrama Sankey consumo eléctrico pequeña empresa de jugos



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 42: Diagrama Sankey consumo térmico pequeña empresa de jugos



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

En el caso del consumo térmico de la empresa, en la Ilustración 42 se aprecia que el mayor gasto energético se produce en la extracción con vapor.

### 4.1.2 Cambio de calefactores eléctricos

Para el caso estudiado, implementar soluciones en los tramos de piping sin aislación y chaquetas con vapor en vez de placas calefactoras, podrían reducir el gasto eléctrico y térmico de la empresa.

Generar calor o calentar agua a partir de la electricidad, cuando se dispone de una caldera a metros de distancia puede significar una importante ineficiencia energética. Lo anterior, debido a que en general las calderas no trabajan en su rendimiento máximo, haciendo posible extraer más vapor que el requerido en el proceso para ser aprovechado en la generación de calor o la calefacción de agua. En el caso, se utilizan 2 resistencias eléctricas de 5kW de potencia cada una de ellas. El primero para la autoclave de las botellas a usar en el envasado y el segundo para mantener el jugo que espera para ser envasado, a la misma temperatura que sale del pasteurizado. Lo anterior es viable, porque el kWh generado térmicamente (leña \$12,6/kWh) es significativamente más barato que el generado eléctricamente (electricidad \$118,18/kWh). En la Tabla 37, es presentada la estimación respecto al cambio desde placas calefactoras eléctricas al uso de la caldera. Para el caso, se observa que aun cuando el número de horas de operación de estas placas calefactoras eléctricas es limitado durante el año, una inversión aproximada de \$2.400.000 puede generar ahorros anuales de \$600.000 en electricidad, obteniendo un Payback cercano a 4 años.

Esta reducción en el gasto eléctrico corresponde al 51% del gasto total anual en electricidad de esta empresa, sin embargo no hay que olvidar que el ahorro económico estará asociado a la diferencia entre valor del kWh proporcionado de forma eléctrica vs el generado con leña.

Tabla 37: Estimación de cambio calefactores

Consumidor (Envasado)	Potencia (kW)	Horas de operación (Hr/año)	Energía consumida (kWh)	Costos asociado actual	Costo alternativo <sup>2</sup>	Ahorros anuales	Payback (años)
Calefactor eléctrico (lavado botellas)	5	576	2.880	\$ 342.144	\$ 36.288	\$ 305.856	4
Calefactor eléctrico (Preenvasado)	5	576	2.880	\$ 342.144	\$ 36.288	\$ 305.856	

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

<sup>2</sup> El costo alternativo corresponde al gasto en combustible utilizado para el remplazo de las placas calefactoras. Para el caso, se considera la leña. No obstante este costo puede ser del tipo hundido, si es que en la caldera existe capacidad disponible para calentar agua.

## 4.3 Pequeña empresa de conservas

En micro y pequeñas empresas de la agroindustria es común encontrar procesos poco automatizados y con un bajo requerimiento eléctrico. El caso estudiado, da cuenta de esto, no obstante, es posible realizar intervenciones en el área térmica, disminuyendo así el gasto de combustible.

Al estudiar el diagrama Sankey eléctrico la empresa, se aprecia que el almacenaje en frío es lo que mayormente consume electricidad, debido al uso de cámaras de frío para mantener fresca la materia prima.

Ilustración 43: Diagrama Sankey consumo eléctrico pequeña empresa de conservas



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Ilustración 44: Diagrama Sankey consumo térmico pequeña empresa de conservas



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

En el diagrama térmico por su parte, la demanda energética está concentrada en pasteurizado y cocción.





### 4.3.1 Sistema solar térmico

En la empresa, el consumo de gas licuado de petróleo (GLP) corresponde a uno de los mayores consumidores energéticos (4.000kg/año), el cual es utilizado para la cocción y para calentamiento de agua en un proceso de pasteurización. La propuesta estudiada corresponderá a la utilización de un sistema solar térmico de baja temperatura para calentar el agua utilizada en dicho proceso.

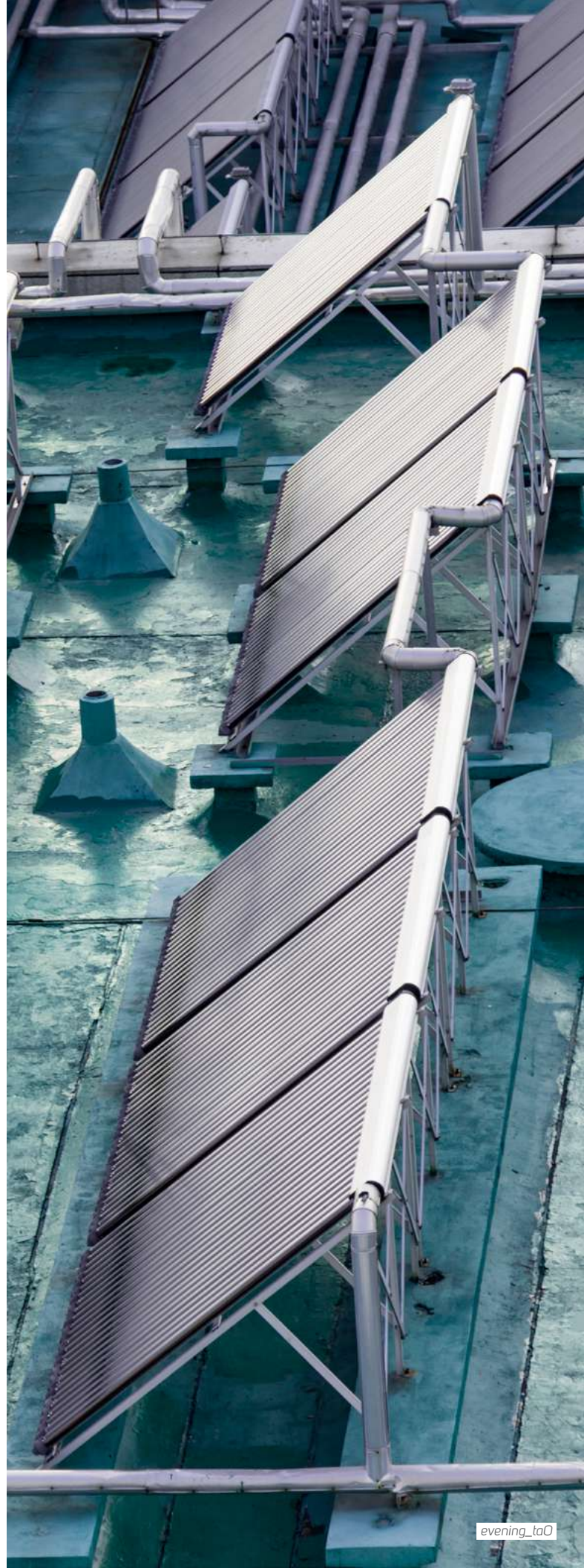
En la Tabla 38, es presentado el cálculo realizado para el dimensionamiento y la estimación de los costos y ahorros esperados, partiendo de una demanda de agua caliente a 90°C de 640 litros al día dividido en 3 usos. Así un sistema de 9m<sup>2</sup> de 320 litros, requerirá una inversión de \$2.009.800, produciendo un ahorro en el gasto en GLP anual de \$499.968 y un período de retorno de la inversión de 4 años.

Tabla 38: Estimación de un sistema solar térmico de baja temperatura

INSTALACIÓN DE REFERENCIA	REFERENCIA	UNIDADES
Precio colector	90.000	\$/m <sup>2</sup>
Precio estanque	1.200	\$/litro
Otros costos	0,2	20% de la inversión
Radiación global diaria dic-ene	7,5	kWh/m <sup>2</sup> /día
Eficiencia	0,4	grado de uso del sistema
Energía aprovechada (7,5x0,4)	3	kWh/m <sup>2</sup> /día
Demanda de agua caliente a 90°C	320	litros /día
Demanda térmica diaria dic-ene	28	kWh
Tamaño de la instalación	9	m <sup>2</sup>
Irradiación anual en sup. Colector	1.500	kWh/m <sup>2</sup> /año
Energía captada	5.580	kWh/año
Tamaño del depósito	700	litros
Costo de inversión	2.008.800	\$
Costo de operación y mantención	20.088	\$/año
Valor del kWh alternativo a gas	44,8	\$/kWh
Beneficio anual	499.968	\$/año
Retorno de la inversión (PRI)	4	años

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Este tipo de proyectos, no solo repercute en la disminución del gasto térmico de la empresa en un 17,9%, sino que también en el gasto en combustibles, reduciendo así la huella de carbono asociada al proceso y mejorando la imagen corporativa por utilizar energías renovables.

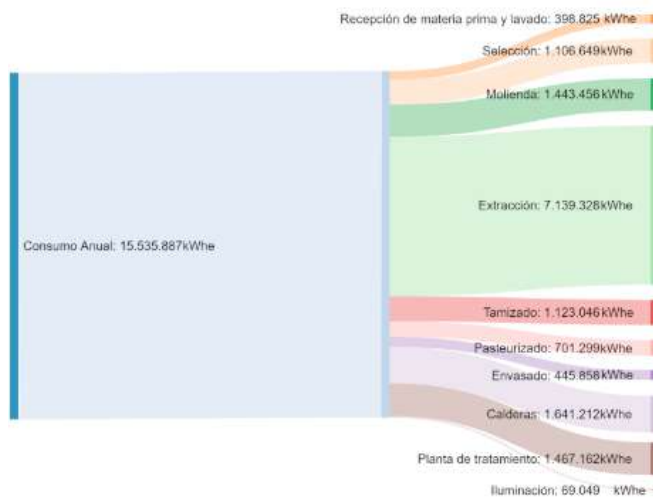




## 4.4 Caso gran empresa de conservas

En grandes empresas, en donde sus procesos están automatizados y controlados con variadores de frecuencia, la posibilidad de intervenir en los mayores consumidores energéticos es limitada. Aun cuando, en el diagrama presentado en la Ilustración 45, se aprecia la distribución del consumo eléctrico, donde el proceso de extracción concentra el mayor gasto, decisiones en ítems que porcentualmente son pequeños pueden generar grandes impactos económicos para la empresa.

Ilustración 45: Diagrama Sankey consumo eléctrico gran empresa de conservas



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

De la misma forma, en la Ilustración 46 se presenta el consumo de energía térmica de la empresa, utilizado principalmente en dos procesos, extracción y pasteurizado.

Ilustración 46: Diagrama Sankey consumo térmico gran empresa de conservas (caso 2)



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética



#### 4.4.1 Disminución de gasto eléctrico en iluminación por recambio de tecnología

Con el fin de disminuir el gasto eléctrico asociado a la iluminación de la planta, en el presente caso se evalúa un recambio de equipos a tecnologías más eficientes. Para esto, se identificaron todas las luminarias existentes en la planta, con el fin de cuantificar cual es el consumo eléctrico actual asociado a dicho ítem. Luego, y bajo el supuesto de que el actual sistema se encuentra bien dimensionado, se estima el recambio manteniendo los lúmenes que hoy en día existen. Es decir, tras el cambio, no existirá diferencia alguna en la cantidad de luz en el recinto.

Para el caso se presentan las lámparas existentes, su rendimiento teórico (lumen/watt), la cantidad de luminarias, la potencia individual y se consideran las horas de funcionamiento anual (2.920Hr/año) para hacer los cálculos. Con esto y considerando un recambio total a LED, se estima el nuevo gasto eléctrico, y el ahorro en kWh producido por cada recambio. Finalmente se estima la inversión requerida y el periodo de retorno de la inversión el cual para este caso se encuentra entre los 2 y 3 años, de acuerdo a las luminarias a reemplazar.

Tabla 39: estimaciones de recambio de equipos de iluminación

Tipo de iluminación	Lumen/Watt	Cantidad	Potencia individual (kW)	Gasto energético (kWh)	Lúmenes actuales	Watts requeridos en LED	Gasto con LED (kWh)	Ahorro (kWh/año)	Inversión	PRI
Campana espiral ahorro energía	80	77	0,125	28.105	10.000	45	10.220	17.885	\$4.025.000	3,2
Luminaria T5 (1149x16mm)	80	36	0,028	2.943	2.240	10	1.070	1.873	\$421.527	3,2
Luminaria T5 (849x16mm)	80	84	0,021	5.151	1.680	8	1.873	3.278	\$737.673	3,2
Luminaria halógena	45	11	0,25	8.030	11.250	51	1.643	6.388	\$646.875	1,4
Campana haluro metálico	85	7	0,4	8.176	34.000	155	3.159	5.017	\$1.244.091	3,5
Proyector haluro metálico	85	13	0,15	5.694	12.750	58	2.200	3.494	\$866.420	3,5
Proyector haluro metálico	85	3	0,25	2.190	21.250	97	846	1.344	\$333.239	3,5
Luminaria sodio	60	12	0,25	8.760	15.000	68	2.389	6.371	\$940.909	2,1

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

#### 4.4.2 Disminución de gasto eléctrico en iluminación mediante iluminación natural

Como segunda opción y con el objetivo de reducir el gasto eléctrico en iluminación es posible incorporar sistemas de iluminación natural como los tragaluces tubulares Tubosolar, en las áreas de la planta en las que no existe iluminación natural. Para el caso, se considera la Instalación de kits Tubosolar k825-625, los cuales poseen una cobertura de 100m<sup>2</sup> por kit. La zona de proceso en la que se podría implementar esta tecnología corresponde a una superficie de 2.520m<sup>2</sup> y es la que actualmente posee los equipos de tipo Campana con ampolleta espiral ahorro energía y Equipos Fluorescentes T5, ya presentados en la Tabla 39, reportando un gasto eléctrico de 36.199kWh/año. Por lo anterior se requerirán al menos 25 kit Tubosolar, con un costo de inversión asociado de \$25.000.000, generando un ahorro de 12.066kWh/año y un Payback superior a 30 años.

Al comparar las medidas evaluadas, el recambio a tecnologías más eficientes de tipo LED, puede resultar más atractivo para este tipo de empresas, disminuyendo un 0,3% el gasto eléctrico anual de la empresa, respecto al 0,1% asociado a tecnologías de iluminación natural. Aun cuando esta última para el caso no es conveniente, dependiendo de los turnos que se desplazan y el costo alternativo, pueden resultar los kits como una buena opción.

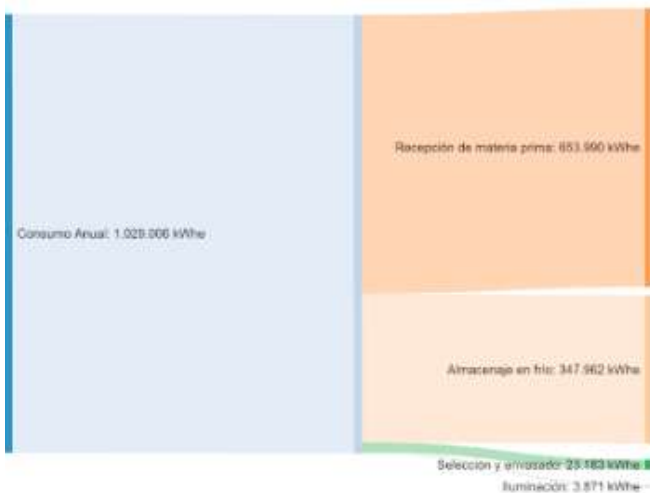


## 4.5 Pequeña empresa de congelados

Utilizando el diagrama de la Ilustración 47 como herramienta para ver de manera gráfica el gasto eléctrico de la empresa presentada, se observan dos procesos que concentran el consumo eléctrico de la empresa, lo que corresponde a la recepción de la materia prima y al almacenaje en frío, esto debido a la utilización de equipos cuya finalidad es mantener en buenas condiciones el producto a ser comercializado.

Para el caso del consumo térmico de la empresa, el diagrama se omite dado que la totalidad del gasto energético se produce en un solo proceso (escaldado).

Ilustración 47: Diagrama Sankey consumo eléctrico pequeña empresa de congelados



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética





#### 4.5.1 Uso de compresores en cascada y acumulación

Debido a la gran demanda de energía eléctrica para refrigeración es que se propone el uso de enfriamiento en cascada y acumulación, lo que produce un incremento en el rendimiento del sistema, el cual puede generar un ahorro de un 20% sobre el gasto total del consumo eléctrico. Para ello, se requiere una inversión en la que se considera un 30% del costo de la potencia instalada en compresores, donde el costo del compresor es de 150.000\$/kW. Los valores presentados se encuentran tabulados en la Tabla 40, además de visualizar el flujo de caja para el caso.

Esta simple medida, puede generar una disminución del gasto eléctrico anual de la planta, correspondiente al 19%.

Tabla 40: Flujo de caja para compresor en cascada y acumulación

GASTO TOTAL/AÑO		PORCENTAJE DE AHORRO		AHORRO ANUAL (\$/AÑO)		INVERSIÓN (\$)	
\$ 79.154.208		20%		15.830.842		17.482.500	
Flujo de Caja							
años							
0	1	2	3	4	5		
-\$17.482.500	\$15.830.842	\$15.830.842	\$15.830.842	\$15.830.842	\$15.830.842	\$15.830.842	
TIR (5 años)			86%				
Payback			2 años				

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

#### 4.5.1 Recuperación de calor de gases de descarga

Dado que el consumo energético se encuentra concentrado en los sistemas de refrigeración, por el uso de compresores para las cámaras de frío, se pretende recuperar el calor generado por los compresores y el calor extraído por éstos a las cámaras mediante un intercambiador de calor. De esta manera utilizar la energía térmica para obtener agua caliente sanitaria como también agua para calentada para la entrada a la caldera, evitando el uso de combustible para el mismo fin.

El calor extraíble corresponde al 25% de la capacidad frigorífica, y el calor recuperado corresponde al 50%, debido a que la demanda térmica es limitada para el proceso de escaldado y baños del personal, la eficiencia del intercambiador es del 80%. El ahorro se valoriza con el precio alternativo del diésel (44\$/kWh). La inversión corresponde al intercambiador de calor gas-agua y piping el cual corresponde a 150.000\$/kW de calor recuperado. En la Tabla 41 se pueden observar diferentes parámetros utilizados para el este caso, además del flujo de caja asociado al equipo de recuperación de calor, el cual presenta un Payback de un año.

Tabla 41: Flujo de caja para recuperador de calor de gases de descarga

CAPACIDAD FRIGORÍFICA (KW)	CALOR EXTRAÍBLE (KW)	CALOR RECUPERADO (KW)	AHORRO ANUAL (KWH/AÑO)	AHORRO ANUAL (\$/AÑO)	INVERSIÓN (\$)
1.282,05	320,51	128,21	516.923	22.744.593	19.230.750
Flujo de Caja					
años					
0	1	2	3	4	5
-\$19.230.750	\$22.744.593	\$22.744.593	\$22.744.593	\$22.744.593	\$22.744.593
TIR (5 años)			115%		
Payback			1 año		

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

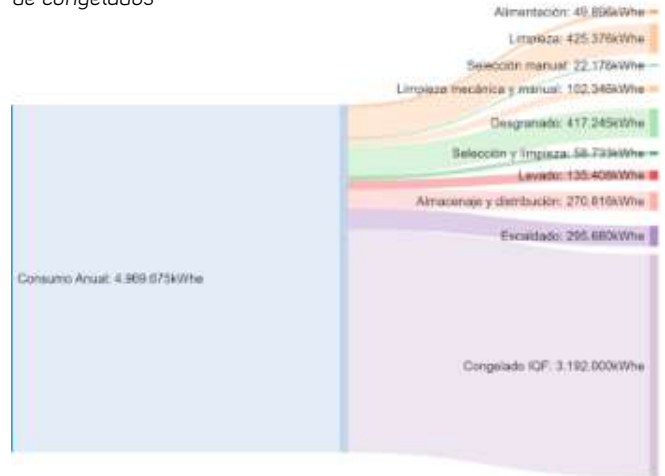


## 4.6 Gran empresa de congelados

Con el diagrama presentado en la Ilustración 48 para la empresa de congelados se visualiza que el gasto energético en que se incurre es principalmente en el proceso IQF (Individual Quick Frozen), el resto de los procesos posee notoriamente una demanda energética mucho menor en comparación al IQF.

Sin embargo, en empresas en las que sus procesos se encuentran controlados energéticamente y utilizan tecnologías para reducir el gasto eléctrico, como variadores de frecuencia o motores de alta eficiencia, es posible no intervenir estos grandes consumidores y considerar la implementación de un proyecto de generación renovable.

Ilustración 48: Diagrama Sankey consumo eléctrico gran empresa de congelados

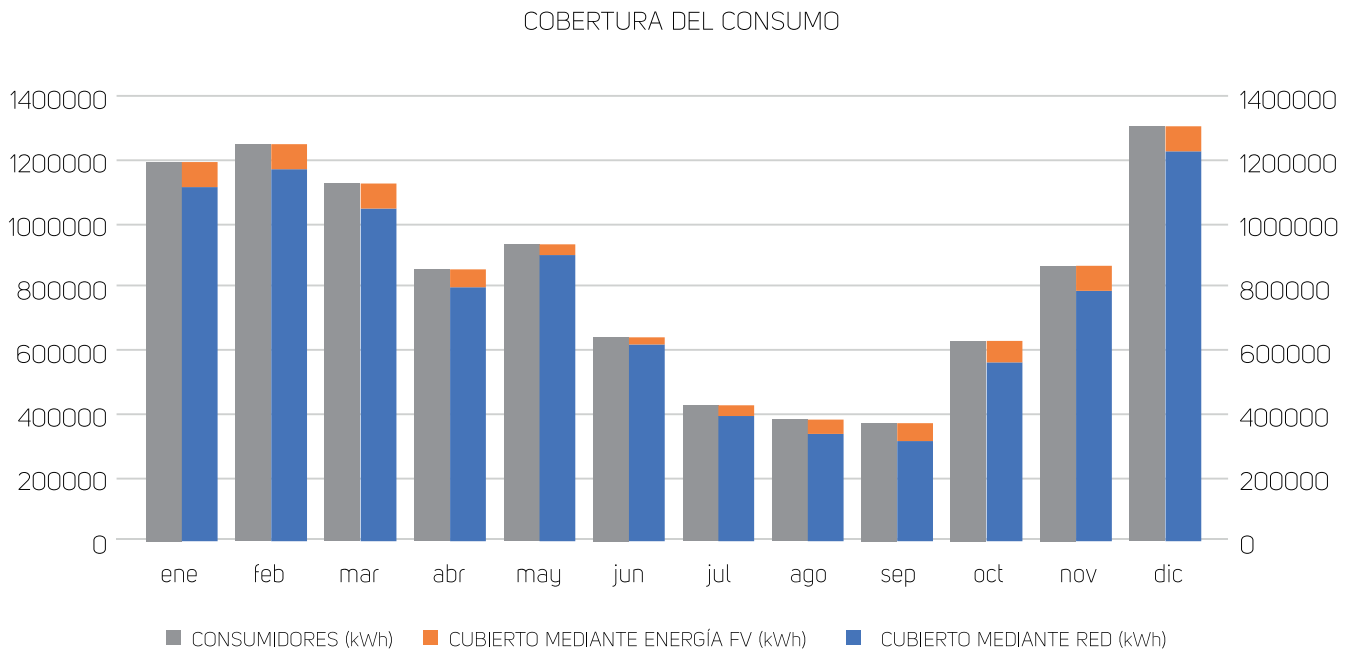


Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

### 4.6.1 Generación renovable 500kWp

En la implementación de un proyecto de energía renovable, cuando dicha empresa posee una potencia contratada >500kVA y es cliente libre, ya no es factible la instalación de un proyecto de tipo Netbilling (<100kWp), sino que puede acceder a instalar un PMGD (Pequeños Medios de Generación Distribuida). Para el caso y considerando el alto gasto eléctrico de la empresa y una gran superficie en techo disponible, se propone un sistema solar fotovoltaico de 500kWp (valor obtenido desde el explorador solar). Dicho proyecto, al ser menor a 1,5MWp, no requiere un estudio de impacto ambiental y su tramitación es simplificada.

Ilustración 49: Simulación solar de proyecto PMGD 500kWp



Fuente: elaboración propia en Explorador Solar



Al igual que para un proyecto tipo Netbilling, y considerando los índices de precio presentados en el Capítulo 3, se obtiene un costo del proyecto de \$380M. Para la estimación del ahorro se considera la energía total generada y el valor del kWh, que para este cliente libre es de 56\$/kWh. Obteniendo un ahorro anual de \$42.318.416.

Tabla 42: Estimación de un sistema PMGD.

Potencia Instalada (kWp)	Precio de referencia (USD/Wp)	Costo de inversión (\$)	Generación Solar (kWh/año)	Precio de la energía (\$/ kWh)	Ahorro anual esperado (\$/año)	Payback
500	1,21	387.200.000	755.686	56	42.318.416	9,1

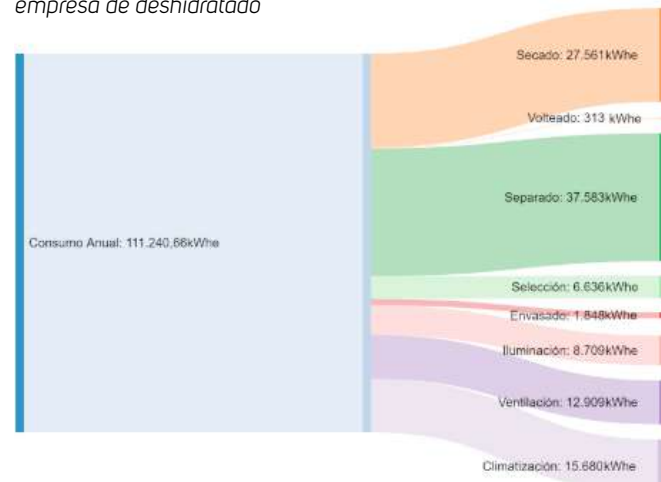
Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

## 4.7 Pequeña empresa de deshidratado

Haciendo uso de la Ilustración 50 es posible analizar el consumo eléctrico para el presente caso, donde se aprecia que el proceso de separado junto al de secado acaparan el mayor gasto eléctrico de la planta. Del mismo modo, los ítems de iluminación, ventilación y climatización que, aunque no corresponden directamente al proceso, resultan ser importantes consumidores eléctricos. No obstante, al tratarse de una línea de proceso relativamente nueva y altamente eficiente, dicha distribución no es factible utilizarla como una vía para implementar medidas de eficiencia energética.

El diagrama Sankey para el consumo térmico de la empresa se omite dado que el gasto energético térmico solo ocurre en el proceso de secado.

Ilustración 50: Diagrama Sankey consumo eléctrico pequeña empresa de deshidratado



Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

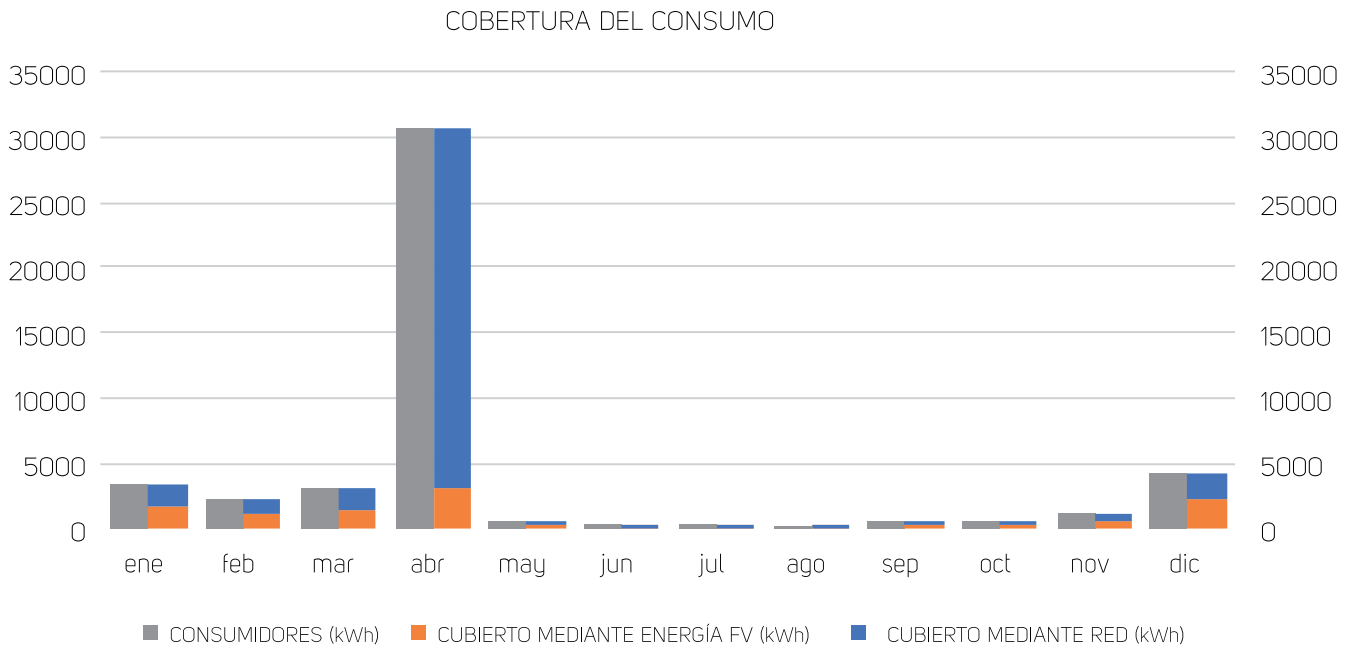
### 4.7.1 Generación fotovoltaica <100kWp

Para el caso de una pequeña empresa deshidratadora, en la que sus líneas de proceso se encuentran con un eficaz desempeño energético, controladas mediante variadores de frecuencia y partidores suaves, es posible incorporar el uso de las energías renovables como una alternativa para disminuir el gasto eléctrico. Se considera para el caso, una planta <100kWp regulada por la Ley 20.571.

Para el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red <100kWp, es necesario tener en consideración la superficie disponible, la potencia contratada y el consumo eléctrico de la empresa. La superficie disponible del techo de la empresa, con orientación norte (orientación que optimiza la captación anual de radiación) son 434 m<sup>2</sup>, transformándose este en una limitante a la cantidad de paneles PV a instalar, para el caso 30kWp.

La potencia contratada, también restringirá la potencia máxima a conectar, ya que los sistemas deben estar acondicionados al dimensionamiento existente en la edificación. En el caso de que este aspecto no significase una limitante, como el caso en el que existen 40kW contratados, se podrá utilizar como referencia el perfil de consumo de la empresa. Este último debido a que no es conveniente sobredimensionar el sistema.

Ilustración 51: Simulación solar obtenida en Explorador Solar



Fuente: elaboración propia en Explorador Solar

Para la modelación solar se utilizó la potencia total a instalar (30kWp), el ángulo del techo en el que se colocaran los paneles (23°) y el lugar geográfico donde se instalará. En la Ilustración 51, se muestra el resultado de la simulación en la que es posible obtener la energía total generada anualmente (41.231kWh), permitiendo así, poder valorizar el ahorro anual y los flujos futuros. Para el caso, y considerando una tarifa BT4.3 (71 \$/kWh), un costo de inversión neta de \$29.000.000 y ahorros anuales en energía por \$3.000.000 aproximadamente, el retorno de la inversión se consigue al año 10.

#### 4.7.2 Recuperación de calor en secadores

En la misma empresa y como una medida de optimización del uso energético del proceso, se estudia la recuperación del calor de los secadores. La propuesta consiste en recuperar el calor desde el aire húmedo que sale de un secador de bandejas. El vapor se condensa en el equipo, calentando un contraflujo de aire seco exterior que se inyecta al secador. A la salida, el aire tiene un alto contenido de calor latente y sensible, susceptible de ser recuperado. La potencia térmica se provee por medio de calderas de leña de 1.200kWt y 600kWt respectivamente, que trabajan con vapor saturado a 110°C.

Se tiene que la potencia térmica es empleada íntegramente para calentar el aire que se inyecta al secador. El destino de esta energía se aprecia en la Tabla 43.

Tabla 43: Destino del calor en proceso de secado de pequeña empresa de deshidratados

Distribución de calor	Porcentaje
Pérdida por tuberías	3%
Pérdidas por envolvente	20%
Calor residual en producto y equipo	15%
Calor contenido en aire de salida	62%

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

El recuperador de calor debe ser capaz de recuperar el calor latente y parte del calor sensible al llevar el aire a una temperatura de salida equivalente a la de entrada 20°C. Para conocer el calor recuperado se utiliza la ecuación presentada a continuación, además se consideran los valores presentados en la Tabla 44.

Ecuación 1: Cálculo de calor recuperado

$$Q=m1*Cp*dT1+m2*Tv$$

Fuente: elaboración propia

Tabla 44: Datos para la obtención de calor recuperado

PARÁMETRO	VALOR	DEFINICIÓN
m1	1.264	Es la masa del aire húmedo de salida, es decir la suma de la masa de aire más la de agua (kg)
Cp	0,00035	Calor específico del aire húmedo 10% agua en kW/kg K
dT1	35	Es la diferencia de temperatura antes y después del recuperador (K)
m2	101	masa de agua condensada (kg), equivalente al agua extraída de los productos
Tv	0,68	Es el calor latente de vaporización del agua en kWh/kg
Tv	0,68	Es el calor latente de vaporización del agua en kWh/kg

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Para la obtención de m2, se considera que los productos que se secan contienen una humedad de 100% base seca, mientras que para m1 se toman las siguientes consideraciones: una temperatura del aire de 55°C y una densidad de vapor saturado de 99,5 g/m3. Si la humedad actual del aire es 95 g/m3, entonces la humedad relativa es 95 %. Esto es prácticamente la máxima cantidad de agua que puede contener, con esta cantidad de humedad, el punto de rocío es aproximadamente 53,9°C.

Una vez obtenidos los valores requeridos en la Ecuación 1, se obtiene que el calor recuperado es 84kW. En la Tabla 45 se puede apreciar el flujo de caja para el recuperador de calor propuesto en el presente caso. Este ahorro generado en el gasto térmico de la empresa, puede generar una disminución del 6% de su gasto térmico anual. Sin embargo debe existir la real necesidad para poder materializar dicha inversión, ya que en otro caso sería energía desperdiciada.

Tabla 45: Flujo de caja para recuperador de calor en secador

AHORRO (KWH/AÑO)		VALOR DEL AHORRO (\$/KWH)	AHORRO ANUAL (\$/AÑO)		INVERSIÓN (\$)
283.168		17	4.813.850		3.056.666
Flujo de Caja					
años					
0	1	2	3	4	5
\$-3.056.666	\$4.813.850	\$4.813.850	\$4.813.850	\$4.813.850	\$4.813.850
TIR (5 años)			156,06%		
Payback			1 año		

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización energética

Finalmente, y al comparar las dos medidas de optimización del consumo energético, es posible advertir que un recuperador de calor es mucho más atractivo económicamente que un sistema fotovoltaico. Por lo que siempre se recomienda poder agotar las medidas de eficiencia energética tanto correctivas como de optimización antes que implementar proyectos de energías renovables.





# 5. Fuentes de financiamiento

Existen distintas alternativas de financiamiento que pueden facilitar la implementación de medidas de eficiencia energética y proyectos de energías renovables en empresas de la agroindustria de alimentos procesados. Por esto, es importante elegir el mecanismo que mejor se adapte a las necesidades de cada empresa.

## 5.1 Financiamiento convencional

El financiamiento convencional con inversión inicial, consiste en la adquisición directa de la medida de eficiencia energética o sistema de generación renovable. Ya sea con un financiamiento propio, crédito o leasing de una entidad financiera. En aquel sentido, la principal desventaja de este modelo de financiamiento es que requiere de capital para el pago total de la inversión o un pie para acceder al préstamo.

Tradicionalmente, los créditos o leasing dispuestos por el mercado son créditos comerciales, para la adquisición de insumos, maquinarias o capital de trabajo. Sin embargo, a partir del año 2017, Banco Estado puso a disposición del

mercado un crédito especializado para proyectos de eficiencia energética y energías renovables para micro y pequeñas empresas. Así mismo, es importante considerar que existen garantías de CORFO que pueden ayudar a conseguir financiamiento si no se cuentan con las garantías suficientes. La ventaja de este crédito, a diferencia de uno de consumo, radica en las tasas de interés y en el plazo de amortización financiando hasta un 80% del valor neto del proyecto, con tasas preferenciales debido al bajo riesgo de las acciones a financiar y con un plazo de hasta 12 años.

## 5.2 Modelo ESCO

Recibe su nombre de sus siglas en inglés Energy Service Company. Mediante este modelo, generalmente sin inversión inicial, una empresa ESCO diseña, financia, instala, opera y mantiene una medida de eficiencia energética o un sistema de generación renovable, sin costo de inversión inicial para el cliente. Este modelo puede operar con una cuota fija (tipo leasing) o mediante un contrato de ahorros, provenientes desde la disminución del consumo de la red o de la reducción del gasto energético interno.

Para el caso en que el cliente opte por cancelar una cuota fija, mensual o anual, la ESCO debe asegurar un adecuado rendimiento del sistema, es decir, que el sistema producirá un cierto valor mínimo de ahorro. En este contexto se toman en cuenta diferentes escenarios de sensibilidad, donde se pueda obtener un valor esperado de ahorro coherente al valor cuota pactado. En algunos casos las ESCO's, pueden obligarse por contrato a compensar al cliente en caso de que el proyecto no alcance los rendimientos mínimos establecidos.

En sistemas de generación renovable, también es factible la suscripción de un contrato de suministro de energía (PPA) del inglés Power Purchase Agreement. En este tipo de mecanismo, un vendedor se compromete a vender energía a un comprador, y éste a consumirla durante un período y precio acordado, la cual es rentable para ambas partes (precio más económico para el comprador, y precio rentable para el proyecto para el vendedor)

En el modelo ESCO los contratos pueden tener una duración de 3 a 7 años para medidas de eficiencia energética y de 10 a 20 años para sistemas de generación renovable; plazo tras el cual el sistema pasa a propiedad del cliente. Dicho plazo generalmente tiene relación con la rebaja en el precio de la energía suministrada.

En la Tabla 46 se presenta la comparación de los modelos de financiamiento tanto de proyectos de implementación de medidas de eficiencia energética (MEE) y de proyectos de energías renovables no convencionales (ERN), bajo la Ley de generación distribuida (Ley 20.571)

Tabla 46: Comparación de modelos de financiamiento para MEE y ERNC

	FINANCIAMIENTO CONVENCIONAL	MODELO ESCO
Forma de pago	\$ al contado (capital propio o préstamo de un banco)	por unidad de energía generada o ahorrada (\$/kWh) o pagos periódicos fijos
Beneficios	No hay obligaciones contractuales con la empresa instaladora continuas en el tiempo. Es factible la reducción de impuestos vía depreciación de los activos	No hay costos de inversión (o son los mínimos), la empresa instaladora es responsable del mantenimiento y del desempeño de la planta
Desventajas	El dueño es usualmente responsable del mantenimiento, o debe pagar por ello.	Requiere compromisos de largo plazo. En ciertas ocasiones puede generar comodatos en la propiedad.

Fuente: elaboración propia en base a GIZ (2017)

## 5.3 Tipos de contratos ESCO

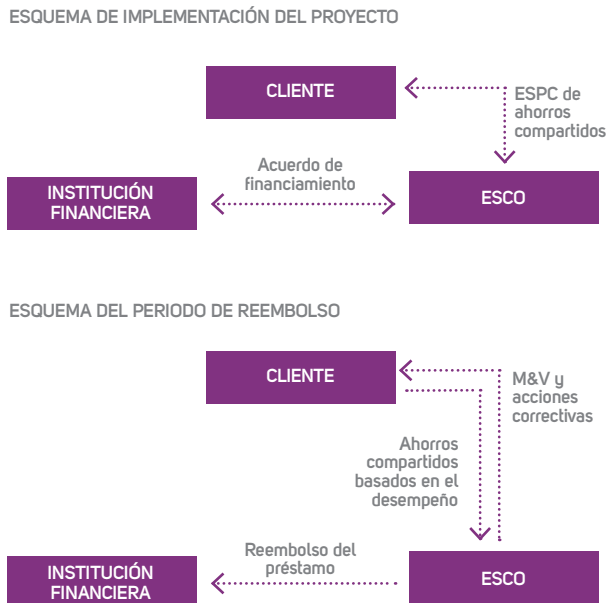
Aun cuando en términos generales el modelo ESCO fue definido, en la práctica existen diversos tipos de contratos de servicios energéticos por desempeño (ESPC). Los cuales difieren en la distribución del riesgo entre el contratista y el cliente. El tipo de ESPC más conocido es el de ahorros compartidos, sin embargo, existen igualmente otros tipos, como por ejemplo los contratos de ahorros garantizados y el modelo de descuentos, conocido también como chauffage.



### 5.3.1 Contratos ESPC de ahorros compartidos

En el ESPC de ahorros compartidos el contratista financia por completo la implementación del proyecto y obtiene un porcentaje de los ahorros por un periodo determinado, una vez que se realice la adecuación de la instalación.

Ilustración 52: Esquema de un contrato ESPC de ahorros compartidos



Fuente: El modelo de negocio ESCO y los contratos de servicios energéticos por desempeño (2017)

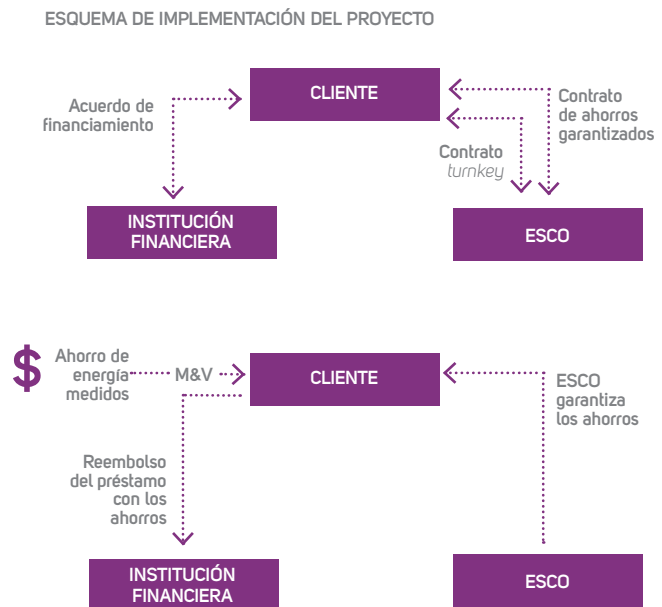
En el ESPC de ahorros compartidos el contratista financia por completo la implementación del proyecto y obtiene un porcentaje de los ahorros por un periodo determinado, una vez que se realice la adecuación de la instalación.

Dentro de este tipo de contrato, es posible distinguir una variante llamada fast-out. En esta modalidad el contrato no tiene un periodo de duración fijo. Este último no se define, y los pagos no se realizan, hasta tanto el costo del proyecto –una cantidad determinada a priori– no haya sido cancelado en su totalidad a la ESCO. Esta modalidad usualmente tiene un periodo máximo de duración, después del cual los pagos deben cesar. Por un lado, este diseño reduce el nivel de riesgo de la ESCO, pues los pagos pueden realizarse durante un periodo más largo en caso de que los ahorros esperados aún no se hayan logrado. Por otro lado, si el nivel de ahorros es superior al esperado, la ESCO no tiene el derecho de ganar más dinero sobre la base de estos ahorros.

### 5.3.2 Contratos ESPC de ahorros garantizados

En un proyecto de ahorros garantizados, el contratista firmará un contrato tipo “llave en mano” con su cliente, el financiamiento se obtendrá a través de un tercero, y el contratista garantizará en un anexo al acuerdo original que se compromete a reembolsar cualquier ahorro establecido que no se haya logrado. Este arreglo contractual se ha convertido en el tipo de ESPC más utilizado en todo el mundo. De hecho, son muchas sus ventajas para el cliente: i) tiene un mayor acceso a préstamos y a esquemas de arrendamiento financiero o leasing, dado que es el propietario de las instalaciones y de los bienes; ii) obtiene mejores términos en los préstamos y no paga ninguna tasa de interés adicional añadida por la ESCO; iii) los documentos contractuales para este tipo de contrato son tradicionales y de fácil comprensión, debido a que la modalidad conocida como llave en mano es un contrato tradicional de ingeniería, adquisición de bienes y construcción (EPC por su sigla en inglés), y iv) el acuerdo financiero puede ser o bien un préstamo o un esquema un arrendamiento financiero.

Ilustración 53: Esquema contratos ESPC de ahorros garantizados



Fuente: El modelo de negocio ESCO y los contratos de servicios energéticos por desempeño (2017)

### 5.3.3 Contratos ESPC tipo descuento (chauffage)

En un contrato de descuento o chauffage, la ESCO es propietaria de los sistemas de conversión de energía ubicados en las instalaciones del cliente. Así pues, la planta de enfriamiento (por ejemplo), puede ser usada para convertir electricidad en sistemas de enfriamiento, y un cuarto de calderas se puede emplear para convertir combustible en vapor. Bajo esta modalidad, después de la firma del contrato la ESCO operará, mantendrá y pagará las facturas de energía del sistema de conversión, además de que invertirá en el incremento de la eficiencia del sistema. La ESCO vende energía "convertida" a su cliente a una determinada tarifa de descuento y cumpliendo con un nivel de calidad predeterminado de suministro de energía durante el periodo del contrato.

El contrato de descuento no se encuentra radicado en un proyecto en particular; más aún, la ESCO no necesita presentar un diseño de adecuación detallado antes de firmar el contrato. Lo que sucede es que, después de firmarlo, la ESCO realiza aquellas mejoras que el sistema requiera, de manera que la rentabilidad del mismo aumente cuanto más se reduzcan los costos de mantenimiento y operación de la ESCO. Muchos clientes buscan este tipo de contrato, no necesariamente por el ahorro de energía que pueda producir, sino porque desean delegar el manejo de su sistema de conversión para así concentrar sus recursos y capacidades en su línea particular de actividades.

Un contrato ESPC es una transacción por medio de la cual un contratista ESCO vende un proyecto de inversión a un cliente, aunque en un principio no se conozca con precisión el resultado de la inversión cuando se realice el primer compromiso. En otras palabras, un contratista ESCO vende la idea de que hay un cierto potencial de ahorro energético, y de que la ESCO está en capacidad de identificar y cuantificar dichos ahorros, así como de diseñar e implementar un proyecto de llave en mano para obtenerlos.

Ilustración 54: Esquema contratos ESPC tipo descuento (chauffage)

ESPC tipo descuento (chauffage)



Fuente: El modelo de negocio ESCO y los contratos de servicios energéticos por desempeño (2017)

## 5.4 Financiamiento y ESCO's

En la Tabla 47, se presenta un listado de instrumentos de financiamiento vigentes para el financiamiento de este tipo de proyectos.

Tabla 47: Instrumentos de financiamiento para MEE y ERNC

NOMBRE DE INSTRUMENTO	INSTITUCIÓN	COFINANCIAMIENTO	SITIO WEB
Crédito Eficiencia Energética y Energías Renovables Pequeñas Empresas	Banco Estado	Hasta 80%	<a href="http://www.bancoestado.cl/imagenes/_pequeñas-empresas/productos/financiamiento/proyectos-eficiencia-energetica.asp">http://www.bancoestado.cl/imagenes/_pequeñas-empresas/productos/financiamiento/proyectos-eficiencia-energetica.asp</a>
Crédito Eficiencia Energética y Energías Renovables Microempresas	Banco Estado	Hasta 100%	<a href="http://www.bancoestado.cl/imagenes/_pequeñas-empresas/productos/financiamiento/proyectos-eficiencia-energetica.asp">http://www.bancoestado.cl/imagenes/_pequeñas-empresas/productos/financiamiento/proyectos-eficiencia-energetica.asp</a>
Crédito de Largo Plazo Complementario para Inversiones	INDAP	No aplica	<a href="http://www.indap.gob.cl/servicios-indap/plataforma-de-servicios/financiamiento">http://www.indap.gob.cl/servicios-indap/plataforma-de-servicios/financiamiento</a>
Crédito de Corto Plazo de Enlace para Inversiones	INDAP	No aplica	<a href="http://www.indap.gob.cl/servicios-indap/plataforma-de-servicios/financiamiento">http://www.indap.gob.cl/servicios-indap/plataforma-de-servicios/financiamiento</a>
Crédito Corfo Mipyme	CORFO	No aplica	<a href="https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias">https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias</a>
Crédito Corfo Micro y Pequeña Empresa	CORFO	No aplica	<a href="https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias">https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatorias</a>

Fuente: elaboración propia en base al buscador de financiamiento del Ministerio de energía

Para la ejecución de proyectos mediante la modalidad ESCO, en la Tabla 48, se presentan una selección de empresas dedicadas al desarrollo de proyectos de eficiencia energética y generación distribuida, mediante el modelo ESCO.

Para más información acerca de empresas ESCOs, visita:



[www.anesco.cl](http://www.anesco.cl)



[www.acee.cl](http://www.acee.cl)

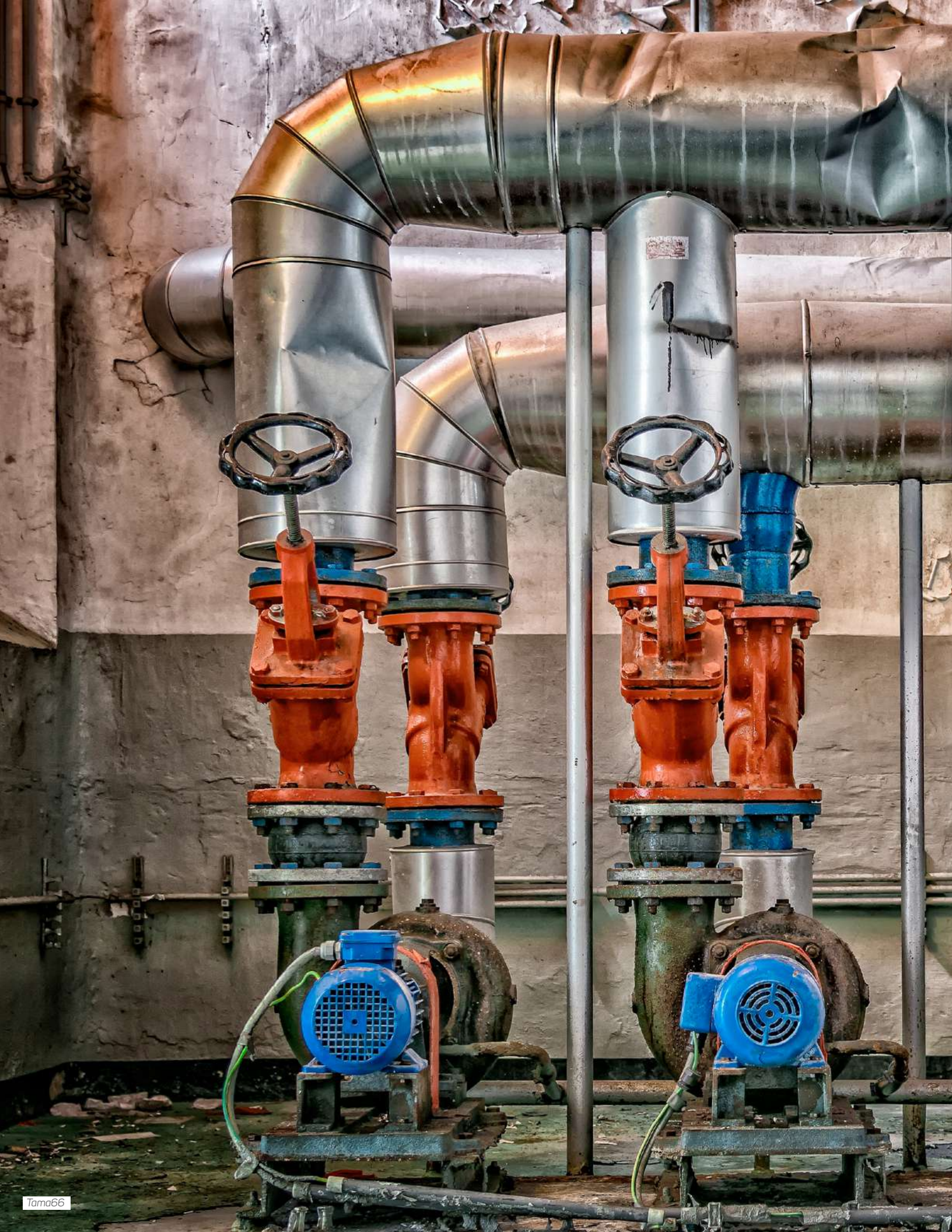


Tabla 48: Empresas ESCO

Empresa	Área de acción	Sitio Web
Ancare Energy	Energía térmica y eléctrica	<a href="http://www.ancare-energy.cl/">http://www.ancare-energy.cl/</a>
ASGREEN	Especialistas en eficiencia energética	<a href="http://www.asgreen.cl/">http://www.asgreen.cl/</a>
Blue Now	Instalación de proyectos eléctricos e iluminación eficiente.	<a href="http://www.bluenow.cl/">http://www.bluenow.cl/</a>
CEC Generación SPA	Eficiencia energética y ERNC	<a href="http://www.cecltda.cl">http://www.cecltda.cl</a>
Creara	Eficiencia y ahorro energético	<a href="http://www.creara.es/">http://www.creara.es/</a>
Crowsnest	Eficiencia energética	<a href="http://www.crowsnest.cl/">http://www.crowsnest.cl/</a>
Danfoss	Refrigeración y aire acondicionado	<a href="http://www.danfoss.com/">http://www.danfoss.com/</a>
ECO Climatización	Evaluación térmica y simulación energética	<a href="http://www.ecoclimatizacion.cl/">http://www.ecoclimatizacion.cl/</a>
Eecol Power	Iluminación	<a href="http://www.eecol.cl/">http://www.eecol.cl/</a>
Efizity Ingeniería Spa	Energías renovables no convencionales	<a href="http://www.efizity.com/">http://www.efizity.com/</a>
ELECNOR CHILE	Mantenimiento y eficiencia energética	<a href="http://www.elecnor.cl/es/">http://www.elecnor.cl/es/</a>
ENER Solutions	Eficiencia energética y energía renovable	<a href="http://www.enersolutions.cl/">http://www.enersolutions.cl/</a>
Engie Servicios	Mantenimiento	<a href="http://www.cofely-termika.cl/">http://www.cofely-termika.cl/</a>
Gasco	Distribución de gas para uso doméstico	<a href="http://www.gasco.cl/">http://www.gasco.cl/</a>
GBR	Asesoramiento	<a href="http://www.gbr-green.cl/">http://www.gbr-green.cl/</a>
HEAVENWARD	Mantenimiento	<a href="http://www.heavenward.cl/">http://www.heavenward.cl/</a>
H-Energy	Eficiencia energética	<a href="http://www.anescochile.cl/miembros/h-energy/">http://www.anescochile.cl/miembros/h-energy/</a>
Hydroscada	eficiencia energética	<a href="http://www.hydroscada.cl/">http://www.hydroscada.cl/</a>
IDMA	Capacitación	<a href="http://www.idma.cl/">http://www.idma.cl/</a>
Ingeniería Proquilab	Gestión de energía y eficiencia energética	<a href="http://www.proquilab.cl/">http://www.proquilab.cl/</a>
NBI	Eficiencia energética y energía renovable	<a href="http://www.nbispa.com/">http://www.nbispa.com/</a>
Negawatt	Eficiencia energética	<a href="http://www.anescochile.cl/miembros/negawatt/">http://www.anescochile.cl/miembros/negawatt/</a>
Nerdin	Gestión de energía	<a href="http://www.nordin.cl/">http://www.nordin.cl/</a>
Patricio Daly	Asesoría	<a href="http://www.anescochile.cl/miembros/patricio-daly/">http://www.anescochile.cl/miembros/patricio-daly/</a>
Punto Solar	Ingeniería	<a href="http://www.puntosolar.cl/">http://www.puntosolar.cl/</a>
RODA	Asesoría	<a href="http://www.rodaenergia.cl/">http://www.rodaenergia.cl/</a>
SEG Ingeniería	Asesoría	<a href="http://www.segingeneria.com/">http://www.segingeneria.com/</a>

Fuente: elaboración propia en base a Anesco Chile







## — Recomendaciones

En conjunto a las medidas de eficiencia energética y de ahorro presentadas en el capítulo 3 de la presente guía, resulta esencial considerar las sugerencias manifestadas en todos los capítulos revisados con el fin de mejorar la gestión energética de forma integral en su empresa. Por ello a continuación, se presenta un listado de acciones consideradas como buenas prácticas, para complementar lo estudiado y fortalecer la implementación de estas medidas.

1. Definir un gestor energético que tenga la capacidad de abordar y decidir temas de eficiencia energética en la planta.
2. Controlar las cuentas de energía tanto eléctricas como de combustibles y documentar su evolución en el tiempo para poder detectar posibles irregularidades.
3. Ejecutar un estricto programa de mantenimiento preventivo de equipos e instalaciones para asegurar su adecuado funcionamiento, evitando así consumos elevados de energía.
4. Chequear las líneas de proceso periódicamente respecto de situaciones que causan un uso innecesario de energía, por ejemplo: operación de equipos en vacío, puertas de cámaras de frío abiertas, trampas de vapor en mal estado, fugas en sistemas de aire comprimido, fugas de vapor, consumo de agua caliente innecesario, etc.
5. Establecer procedimientos y “set point” en variables de operación e instruir a operadores para asegurar una operación eficiente de los procesos.
6. Comprometer y capacitar al personal respecto a la importancia de la eficiencia energética, haciéndolo parte en la materialización de acciones, ya que su experiencia y conocimiento son un factor clave para alcanzar una cultura de EE con resultados duraderos.

## — Conclusiones

Las oportunidades de ahorro y eficiencia energética tanto en el ámbito eléctrico como térmico, reducirían el consumo energético de una planta agroindustrial entre un 10% y un 30%, si es que se aplican a los procesos con mayor requerimiento. Esto es transversal a todos los subsectores de la agroindustria de alimentos procesados del Maule, e independiente del producto elaborado, proceso productivo, localización de la planta e inclusive niveles de producción.

La presente guía expuso alrededor de 40 oportunidades de gestión y eficiencia energética, tanto para los equipos de producción como para los procesos de apoyo, focalizadas en tres partes: (1) eficiencia energética en el ámbito eléctrico, (2) ahorro en el ámbito térmico y (3) medidas de autogeneración eléctrica y térmica a través del uso de energías renovables no convencionales.

Si bien la implementación de cada una de las propuestas no se podrá ejecutar en todas las plantas, ya sea por el nivel tecnológico presente o por que los indicadores económicos de los proyectos potenciales no lo justifican, esta guía busca motivar una aproximación a estas acciones para poder materializar las que de mejor forma se adapten a su empresa y entreguen mayor rentabilidad.

Es importante mencionar que los costos de implementación son referenciales e indiscutiblemente cambiarán en el tiempo, respecto del levantamiento realizado en la agroindustria del Maule durante el año 2018. Por lo anterior, es recomendable buscar asesoramiento especializado para obtener una evaluación fidedigna de la realidad de su planta a través de un diagnóstico energético, ya sea por consultores externos o por un equipo conformado en el interior de su empresa, encargado de la gestión energética.

Por otra parte, la reducción en el consumo energético conlleva además de una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero, al aumento de competitividad del sector. Conocer la huella de carbono y reducir las emisiones no sólo contribuye a una reducción de costos, sino que le otorga a la empresa una serie de beneficios paralelos como, por ejemplo, poseer una ventaja comparativa a la hora de competir en mercados internacionales, quienes exigen certificaciones al respecto. De esta forma, la aplicación de medidas de eficiencia energética y ahorro, permite proyectar una imagen de responsabilidad social empresarial frente al medio ambiente, la sociedad civil y autoridades, llevando a un liderazgo proactivo respecto de nuevas legislaciones para prevenir el cambio climático.





## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2012). **Guía para la calificación de consultores en eficiencia energética.** Santiago.
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2017). **BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS.** Santiago.
- ANESCO Chile A.G. (2014). **Servicios, soluciones y casos de eficiencia energética.** Santiago.
- BID. (2017). **El modelo de negocio ESCO y los contratos de servicios energéticos por desempeño.** Washington, D.C.
- Bonneville Power Administration. (2014). **A Guidebook for Performing Walk-Through Energy Audits of Industrial Facilities. Oregon.**
- BP Tools. (2018). **BP Tools.** Obtenido de Energy Charging Tool: <http://tools.bp.com>
- Cengel, Y. (2012). **Termodinámica.** New York.
- CGE. (Junio de 2018). **CGE.** Obtenido de Tarifa de Suministro: <http://www.cgedistribucion.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/>
- Chilealimentos. (2012). **Manual de Eficiencia Energética para la Industria de los Alimentos Elaborados.** Santiago.
- Cifuentes, R. C. (2016). **MANUAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA MINERÍA.** Santiago.
- CLP. (2018). **CLP.** Obtenido de Large power tariff: <https://www.clp.com.hk/en/customer-service/tariff/business-and-other-customers/>
- Consejo nacional de energía. (3 de Julio de 2018). **CNE.** Obtenido de <https://www.cne.cl/tarifacion/electrica/>
- EIA. (2018). Energy Information Administration. Obtenido de Natural Gas Prices: [https://www.eia.gov/dnav/ng/ng\\_pri\\_sum\\_dcu\\_nus\\_a.htm](https://www.eia.gov/dnav/ng/ng_pri_sum_dcu_nus_a.htm)
- EIA. (2018). **U.S Energy Information Administration.** Obtenido de Electricity Data Browser: <https://www.eia.gov/electricity/data/>
- Energía Abierta. (Marzo de 2018). **Energía Abierta.** <http://datos.energiaabierta.cl/>
- EuroStat.** (2018). Obtenido de Electricity prices by type of user <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/>
- ideaconsultora. (2012). **Actualización de catastro de la agroindustria hortofrutícola chilena, estudio contratado por la subsecretaría de agricultura.** ODEPA, Santiago.
- Ideaconsultora. (2012). **Potencial de producción y exportación del sector agroindustrial hortofrutícola.**
- INE. (1 de Marzo de 2018). **Instituto Nacional de Estadística.** Obtenido de Generación y Distribución Eléctrica Región del Maule Edición n° 1: <http://www.inemaule.cl/archivos/files/pdf/electricidad/2018/Electricidad-ene-18.pdf>
- Metrogas. (2018). **Listado de tipos de gas y servicios afines prestados por Metrogas S.A.** Obtenido de LISTADO DE TIPOS DE GAS Y SERVICIOS AFINES
- Metropolitan Electricity Authority.** (2018). Obtenido de Specific Business Service: <http://www.me.a.th/en/profile/109/258>
- ODEPA. (2010-2018). **Boletín de frutas y hortalizas procesadas.**
- Petrobras. (2018). **Operational prices and costs.** Obtenido de <http://www.investidorpetrobras.com.br/en/operational-highlights/prices-and-costs>
- Thermal Engineering Ltda. (s.f.). Alternativas de ahorro en plantas térmicas .
- Zanlorenssi, G., Ostetti, V., & Alm, R. (octubre de 2017). **Nexo.** Obtenido de A trajetória das tarifas de energia nos últimos 14 anos: <https://www.nexojornal.com.br/grafico/2017/10/06/>









Proyecto apoyado por



Esta guía fue elaborada por la Universidad de Talca, en el Marco del Programa Estratégico Regional "Agroindustria para el desarrollo, Maule"