

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES EN UNA EMPRESA LÁCTEA DEL INTERIOR DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

Martín S. García, Luis I. Silva, Luis E. Venghi, Daniel Cabrera Díaz

Centro de Investigación y Transferencia de Rafaela - Universidad Nacional de Rafaela -
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Tel. 3492-501155 e-mail: martin.garcia@unraf.edu.ar

RESUMEN: En el presente trabajo se desarrolla el diagnóstico energético de una empresa láctea ubicada en el interior de la provincia de Santa Fe. El estudio contempla, por un lado, la evaluación del potencial de mejora en la eficiencia energética a través del análisis del consumo de los motores de refrigeración y, por otro, la incorporación de una planta fotovoltaica de pequeña escala capaz de abastecer aproximadamente el 10% del consumo eléctrico de la planta. La metodología empleada incluyó mediciones in situ mediante un analizador de energía FLUKE 435-II, complementadas con el relevamiento y procesamiento de datos relacionados a la producción, suministrados por la propia empresa. Dentro de los resultados se obtuvieron que el cambio gradual de motores por otros de mayor eficiencia permitiría un ahorro energético del 3 % de manera anual, mientras que la planta fotovoltaica cubriría el 10 % del consumo total, con un payback simple de 8,6 años. Estas medidas permitirían disminuir los costos productivos, a la vez que reducirían la huella de carbono de la empresa, alineándola con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y normativas regionales de generación distribuida.

Palabras clave: Eficiencia energética, planta fotovoltaica, eficiencia de motores, industria láctea, análisis de energía.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, las provincias más productivas como Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba, concentran una gran parte de la actividad económica que combina las grandes empresas, industria avanzada y un entramado sólido de pequeñas y medianas empresas (PyMEs). Estas PyMEs son clave para diversificar la economía local, generar empleo (aproximadamente el 65 % del empleo privado registrado) y sostener las cadenas de valor en sectores como la manufactura, agroindustria y servicios (Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo, 2023-2024). Principalmente, se distribuyen en los rubros de servicios personales y sociales (como salud, educación privada, gastronomía y esparcimiento), comercio y transporte (24,4 %), agropecuaria (15,9 %), servicios inmobiliarios y empresariales (14,6 %), industria manufacturera (12,3 %) y construcción (5,3 %) (Censo Nacional Económico del INDEC, 2020-2021). Esta diversidad evidencia un entramado productivo dinámico, donde el sector lácteo ocupa un lugar central. Santa Fe es una de las principales cuencas lecheras del país, concentra aproximadamente el 34 % de la producción nacional de leche cruda y aloja a cerca del 30 % de las PyMEs lácteas del país (Observatorio de la Cadena Láctea Argentina (OCLA), 2025). Esta concentración territorial no solo refleja una alta densidad productiva, sino también un entramado de actores que abarca desde tambos familiares hasta plantas industriales medianas con alto impacto en el empleo local. En muchas localidades santafesinas, la actividad láctea constituye el eje económico principal, articulando producción, procesamiento, transporte y servicios auxiliares. Sin embargo, presentan una problemática ambiental estrechamente ligada al alto consumo de energía térmica y eléctrica necesaria para procesos como pasteurización, refrigeración, el uso de bombas, compresores y sistemas de limpieza (Contreras, 2019). Estas demandas representan un costo operativo significativo y un incremento de la huella de carbono de la empresa debido a que la matriz energética de Argentina depende mayormente de



Esta obra está bajo Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

combustibles fósiles (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA), 2025). Frente a esto, resulta clave implementar medidas de eficiencia energética para reducir el consumo energético mediante tecnologías, hábitos o diseños que optimicen el uso de los recursos disponibles. Algunas de estas buenas prácticas se obtienen a partir de la optimización de los sistemas de refrigeración con buen aislamiento, mantenimiento regular y uso de tecnologías como placas de enfriamiento; la sustitución de luminarias por LED y sensores de presencia; la recuperación de calor residual en procesos como la pasteurización; y la recirculación del agua caliente para reducir el consumo térmico. También es clave capacitar al personal en el uso racional de la energía, realizar auditorías energéticas, automatizar procesos como el lavado CIP (por sus siglas en inglés, Cleaning in Place), aprovechar la luz natural y evaluar tarifas eléctricas diferenciadas. Estas acciones permiten reducir costos operativos; disminuir la huella de carbono; prolongar la vida útil de los equipos mediante un uso más racional; cumplir con normativas ambientales y mejorar la imagen institucional frente a consumidores y organismos públicos; además habilita la transición a energías renovables, que complementa la reducción de la demanda energética total (Secretaría de Energía de Argentina, 2019).

La Ley 27.424 de la nación establece el Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública. Este régimen permite que los usuarios de la red eléctrica, incluidas las PyMEs, generen su propia energía a partir de fuentes renovables (como solar o eólica) para autoconsumo, y que puedan inyectar el excedente a la red mediante el mecanismo de balance neto de facturación (Ley 27.424, 2017). Su relevancia para las pequeñas y medianas empresas radica en que promueve una mayor autonomía energética, una reducción en los costos operativos y la posibilidad de acceder a programas especiales como FODIS (Fondo para la Generación Distribuida de Energías Renovables) y FANSIGED (Fondo de Ampliación de la Red y Nacionalización de Sistemas de Generación Distribuida), creados por la Resolución 83/2019 del ex Ministerio de Hacienda (Resolución 83/2019). En la provincia de Santa Fe, el impulso a la generación de energía a partir de fuentes renovables cuenta con un sólido andamiaje normativo que articula legislación provincial y nacional. Desde 2005, la Ley Provincial de Santa Fe N° 12.503 declaró de interés la generación eléctrica renovable, estableciendo lineamientos de planificación participativa. Este marco fue reforzado en 2006 por la Ley N° 12.692, que introdujo mecanismos de fomento concretos como beneficios fiscales y apoyo financiero para tecnologías como el biogás, los biocombustibles y la generación distribuida. A su vez, Santa Fe adhirió plenamente en 2024 a la Ley Nacional N° 27.424. En este marco, se implementó el programa local Prosumidores, que brinda incentivos tributarios, como la exención de Ingresos Brutos y Sellos sobre la energía inyectada, y facilita la conexión con el sistema nacional.

Por otro lado, a nivel local son escasos los estudios que caractericen el consumo energético de una empresa y propongan estrategias adaptadas a las condiciones productivas y tecnológicas regionales. En este contexto, mejorar la eficiencia energética e incorporar energías renovables no solo responde a una necesidad operativa y económica, sino que también se alinea con compromisos globales asumidos por Argentina en materia de sostenibilidad. Particularmente, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible impulsa acciones concretas para garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna (Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7), fomentar la industrialización sostenible y resiliente (ODS 9), así como promover patrones responsables de producción y consumo (ODS 12), (ARGENTINA INNOVADORA 2030, 2023). Debido a cómo se compone la matriz energética Argentina, la reducción de la demanda energética mediante tecnologías e implementación de prácticas más eficientes contribuyen directamente a la mitigación del cambio climático (ODS 13). Por lo tanto, abordar la problemática energética en las PyMEs lácteas santafesinas no solo implica una mejora técnica y económica a nivel local, sino que representa una contribución significativa a los desafíos ambientales y energéticos de escala global.

Para combatir esta problemática, en el presente trabajo se realiza un análisis de consumo de la energía eléctrica utilizando el instrumento de medición FLUKE 435-II (Fluke Corporation, 2013) en las instalaciones de una empresa del rubro lácteo, del interior de la provincia de Santa Fe. Se realizaron los registros de la tensión, corriente, potencia activa, factor de potencia, entre otros, en un periodo de varios días con el fin de diagnosticar oportunidades para la reducción del consumo eléctrico de energía, como también determinar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que pueda abastecer el 10 % del consumo total.

METODOLOGÍA

La estrategia metodológica se basó en la realización de mediciones del consumo de energía eléctrica de la planta durante un período de tiempo que abarque los diferentes perfiles de consumo diario que pueden suceder en la planta. Esto, acompañado con la recolección de datos relacionados a la infraestructura y equipamiento, como así también a la producción y al personal. Posteriormente, se hizo el diagnóstico energético de la planta, haciendo énfasis en los sectores/equipos de mayor consumo. Finalmente, se analizaron diferentes alternativas que permitan un ahorro energético y una disminución en su huella de carbono, teniendo en cuenta la capacidad financiera de la empresa, sobre todo. A continuación, se desarrollan los diferentes pasos de la metodología llevada adelante.

Descripción de las instalaciones

La empresa industrial láctea se ubica al sur de la provincia de Santa Fe, en la ciudad de Elortondo, dentro de la zona bioambiental IIIa según Norma IRAM 11603. En ella se producen diferentes tipos de quesos (blandos, duros y especiales), que son distribuidos, luego, en la región. Cuenta con 11 empleados en la planta de producción, recibo y despacho de mercadería, 2 en gerencia y 2 en el sector administrativo. La jornada laboral en la que se concentra más del 90% de los procesos productivos y administrativos de la planta es de lunes a viernes de 7:00 a 15:00 horas. Mientras que los sábados a la mañana, junto con horas que sean fuera de la jornada típica, se trabaja de manera intermitente, dependiendo de la intensidad productiva. La superficie cubierta de la planta es de 1.500 m² aproximadamente, distribuidos en dos grandes sectores: i) Recepción de leche, Producción y Administración, 1280 m², y ii) Maduración, Almacenamiento y Despacho, 125 m² (Figura 1). A continuación, se detalla cada una de ellas.



(a)



(b)

Figura 1: Empresa láctea, (a) vista aérea, (b) vista de frente.

Sector Recepción, Producción y Administración

En este sector, Recepción ocupa un área importante (480 m²) debido al espacio que necesitan los camiones para realizar su descarga. El almacenamiento de la materia prima se dispone en un tanque con capacidad de hasta 28.000 litros (Figura 2). El promedio de recepción se estima entre 6.000-6.500 litros de leche, dos veces por semana. No obstante, el almacenamiento de la materia prima se encuentra generalmente entre el 20 % y 70 % de su capacidad total. El producto se recibe a temperatura controlada (4°C) y se mantiene a esa temperatura de manera constante y sin interrupciones, hasta el momento de su procesamiento. El motor del equipo compresor para el sistema de frío es de 10 HP.

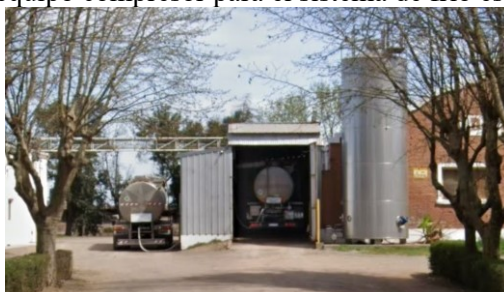


Figura 2: Recepción de leche y tanque de almacenamiento.

El área de Producción cuenta con diferentes máquinas eléctricas, entre ellas bombas para el transporte de la materia prima, prensa hidráulica, agitadores, pasteurizadora, enfriador, etc. De las máquinas más importantes se cuenta de una pasteurizadora eléctrica, con un motor de 9 kW. La misma procesa entre

80-100 l/h, un total de 12.000 litros de leche por semana en promedio. Pudiendo variar desde 10.000 a 14.000 litros. Para el enfriado del producto pasteurizado dispone de un equipo enfriador pequeño a placas que es puesto en marcha a partir de la finalización del proceso de pasteurizado. Por otra parte, el sistema de aire comprimido se alimenta a través de un compresor a pistón, con un motor de 10 HP. El mismo tiene un uso estimado de una hora diaria, dependiendo de la intensidad de la producción.

Cabe destacar, que gran parte de estos ambientes de elaboración cuentan con equipos climatizadores que mantienen la temperatura controlada según sea necesario, con el fin de evitar la proliferación de bacterias o microorganismos no deseados.

Por otra parte, el sector administrativo está considerado dentro del sector de producción, ya que el mismo no tiene grandes consumos (una computadora de escritorio, dispenser, equipo de climatización, entre otros) y ocupa una pequeña parte de la superficie cubierta.

Sector Maduración, Almacenamiento y Despacho

El sector de Maduración, Almacenamiento y Despacho se compone de dos áreas bien diferenciadas (Cámaras de Maduración y Despacho y Almacenamiento Producto final), según se observa en Figura 3. Este sector está diseñado para garantizar el correcto acondicionamiento, manipulación y conservación de quesos, bajo parámetros controlados de temperatura y humedad, conforme a estándares de la industria láctea.

Cámaras de Maduración y Despacho

Este espacio presenta una superficie total de 80 m², con dimensiones aproximadas de 6,15 m de ancho por 13 m de largo (Figura 4). El área cuenta con dos cámaras y un espacio al ingreso con pavimento de fácil limpieza y paredes lisas recubiertas con material apto para contacto alimentario, que facilita la higiene y el mantenimiento sanitario. La iluminación es abundante, con una disposición que evita zonas de sombra; sin embargo, las luminarias instaladas emplean tecnología antigua y de bajo rendimiento energético, lo que representa una oportunidad de mejora en términos de eficiencia.

Este sector tiene dos cámaras independientes equipadas con un sistema de refrigeración autónomo, accionado por un motor de 15 HP, con clasificación de eficiencia IE2. Las condiciones ambientales se mantienen de forma constante: i) en 6 °C con 75% de humedad en la primera cámara; ii) en 10 °C con 80% de humedad en la otra. En ambos casos se controla mediante termohigrómetros calibrados y sistemas de regulación automática. Este microclima favorece el desarrollo gradual de las características organolépticas del queso, evitando la desecación superficial y permitiendo la maduración interna homogénea.

En la zona del ingreso (fuera de las cámaras) se realizan las operaciones de corte, fraccionamiento, pesaje y envasado de los quesos maduros, así como el etiquetado y acondicionamiento para su almacenamiento o distribución. El flujo de trabajo está diseñado para minimizar el riesgo de contaminación cruzada, manteniendo una separación física y funcional de las áreas de producción inicial y de maduración.

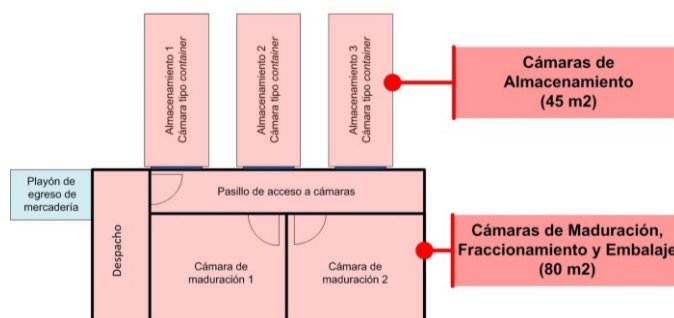


Figura 3: Plano Cámaras de Maduración y Almacenamiento.



Figura 4: Cámaras de maduración, (a) Cámara 1, (b) Cámara 2.

Almacenamiento Producto final

Este sector se compone de tres cámaras independientes, cada una en estructura tipo *container*, con superficie de 15 m², con dimensiones aproximadas de 2,5 m de ancho por 6 m de largo. Las cámaras están dispuestas en paralelo, alineadas junto a una compuerta del área de fraccionamiento.

Cada cámara está equipada con un sistema de refrigeración autónomo, accionado por un motor de 10 HP, con clasificación de eficiencia IE2. Las cámaras cuentan con iluminación interna mediante luminarias estancas, resistentes a la humedad.

El proceso dentro de estas cámaras incluye la colocación de los quesos en estanterías de acero inoxidable o material apto para uso alimentario, con circulación de aire forzada para garantizar uniformidad térmica y de humedad. La inspección periódica comprende control visual, rotación de piezas y verificación de parámetros físico-químicos y microbiológicos. La Figura 5 muestra el interior y exterior de las cámaras de almacenamiento.



Figura 5: Cámaras de almacenamiento producto final, (a) Interior, (b) Exterior.

Diagnóstico energético

Para llevar adelante un diagnóstico adecuado se relevó la información de la planta en cuanto a demanda energética, consumo eléctrico y análisis de energía. Para ello, haciendo énfasis en los dos últimos puntos, se procedió a instalar el analizador de energía FLUKE 435-II en el Tablero de Comando General, con el objetivo de tener datos precisos sobre el consumo y calidad de energía (Figura 6). La función de este tablero es la distribución y protección de los circuitos de potencia de toda la planta. Los datos relevados fueron, tensión, corriente, potencia activa, factor de potencia, entre otros, con un intervalo de un minuto, durante cinco días continuos (considerando días hábiles y fines de semana), de manera de involucrar todos los procesos y los diferentes días de trabajo. Respecto a la demanda energética y a la instalación eléctrica se relevaron las cargas eléctricas compuestas por las diferentes máquinas junto con las luminarias de manera visual. Este analizador permitió obtener las curvas de cargas de los diferentes días de trabajo (Figura 7 y Figura 8), a la vez que se halló el consumo anual y, en conjunto con el relevamiento de la demanda, se pudo desagregar según los sectores de trabajo en el período de un año (Tabla 1 y Tabla 2). En el caso de la iluminación, si bien se detalla a nivel de sectores, para un mejor análisis, en Tabla 2 se concentraron todas las luminarias en un solo grupo, ya que los tiempos de encendido eran similares.

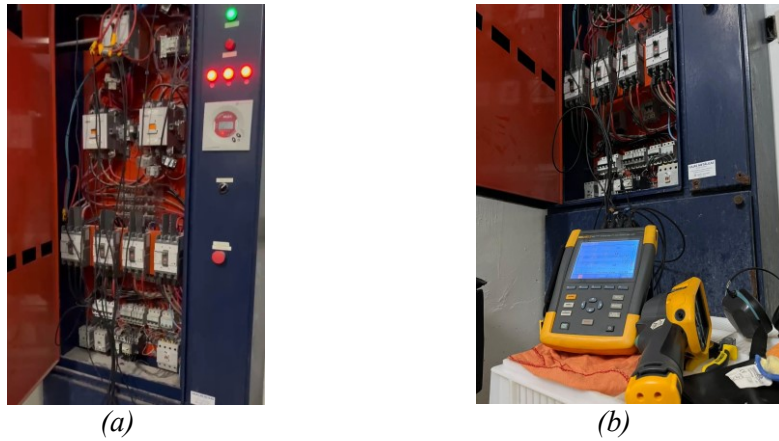


Figura 6: Instalación analizador de energía, (a) Tablero principal, (b) analizador.

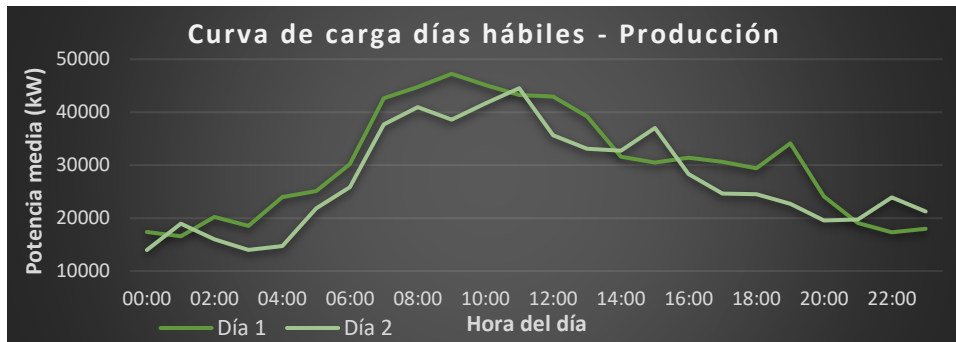


Figura 7: Curva de carga para días hábiles.

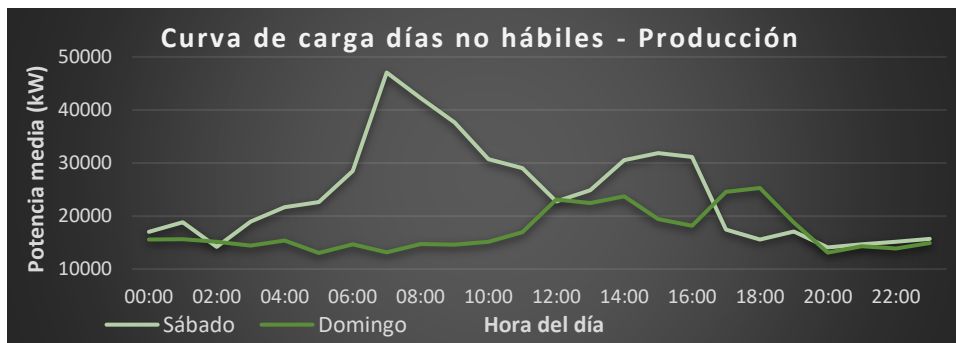


Figura 8: Curva de carga para días no hábiles.

Tabla 1: Consumo energético estimado

Día	Consumo estimado (kWh)		
	Día hábil	Sábado	Domingo
Anual	687,637	579,288	410,214
TOTAL (kWh)	178.785,515	30.122,970	21.331,118
		230.240	

Tabla 2: Consumo de cargas eléctricas

Pasteurizadora	
Motor (kW)	9
Funcionamiento (hs/sem)	16
Consumo anual (kWh/año)	7.488
Compresor	
Motor (kW)	7,46
Funcionamiento (hs/sem)	5
Consumo anual (kWh/año)	1.940
Recepción leche	
Motor (kW)	7,46
Funcionamiento (hs/sem)	47,04
Consumo anual (kWh/año)	18.248

Máquinas de producción	
Máquinas (kW)	30
Funcionamiento (hs/sem)	22
Consumo anual (kWh/año)	34.320
Iluminación	
Iluminarias (kW)	22
Funcionamiento (hs/sem)	30,8
Consumo anual (kWh/año)	35.235
Climatizadores elaboración	
Motores (kW)	11,2
Funcionamiento (hs/sem)	8,8
Consumo anual (kWh/año)	5.125
Depósito maduración	
Motores (kW)	22,38
Funcionamiento (hs/sem)	47,04
Consumo anual (kWh/año)	61.509
Depósito almacenamiento final	
Motores (kW)	22,38
Funcionamiento (hs/sem)	47,04
Consumo anual (kWh/año)	62.208

Respecto a la instalación eléctrica, para la alimentación de la planta industrial cuenta con cableado trifásico con conductores dimensionados para una corriente máxima de acuerdo al equipamiento actual, transportado por bandeja y tubería EMT/rigid, según recorrido. Posee, además, una malla de tierra y unión equipotencial para carcasas de máquinas, racks y metalizados, con comprobación periódica de resistencia de tierra ($< 10 \Omega$ preferible para planta pequeña). A continuación, se describen los dos sectores principales y se realiza el diagnóstico correspondiente.

Sector Recepción, Producción y Administración

El diagnóstico energético se hizo sobre los motores de mayores potencias y exigencias, y de la carga de iluminación. Para este caso es el motor del sistema frigorífico de la materia prima (10 HP), de la pasteurizadora (12 HP) y del compresor (10 HP).

Inventario de las cargas eléctricas principales (Tabla 2):

- Motor del sistema frigorífico de la materia prima: 10 HP de potencia nominal (7,46 kW); eficiencia eléctrica IE2; rendimiento $\eta \approx 0,88$; $\cos \varphi \approx 0,85$; corriente nominal $I \approx 15,20$ A.
- Motor de pasteurizadora: 12 HP de potencia nominal (9 kW); eficiencia eléctrica IE2; rendimiento $\eta \approx 0,88$; $\cos \varphi \approx 0,85$; corriente nominal $I \approx 15,70$ A.
- Motor del compresor de aire: 10 HP de potencia nominal (7,46 kW); eficiencia eléctrica IE2; rendimiento $\eta \approx 0,88$; $\cos \varphi \approx 0,85$; corriente nominal $I \approx 15,40$ A.
- Iluminación de las diferentes áreas de Producción: Cuenta con luminarias fluorescentes T8, con reactancias magnéticas y lámparas leds en algunos espacios. La carga para luminarias se estima en 12 kW.

Sector Maduración, Almacenamiento y Despacho

El diagnóstico energético se hizo sobre los dos motores de 15 HP de las cámaras de maduración más los tres motores de 10 HP de las cámaras (tipo contenedor) de almacenamiento. También se incluye en este análisis la instalación eléctrica asociada y el resto de los equipos eléctricos instalados en el sector. Las observaciones se basan en parámetros típicos de instalaciones industriales de proceso.

Inventario de las cargas eléctricas principales (Tabla 2):

- Motor del sistema frigorífico de Maduración (2 unidades): 15 HP de potencia nominal cada uno (11,19 kW); eficiencia eléctrica IE2; rendimiento $\eta \approx 0,89$; $\cos \varphi \approx 0,85$; corriente nominal $I \approx 22,47$ A.
- Motor del sistema frigorífico de Almacenamiento (3 unidades): 10 HP de potencia nominal cada uno (7,46 kW); eficiencia eléctrica IE2; rendimiento $\eta \approx 0,88$; $\cos \varphi \approx 0,85$; corriente nominal $I \approx 15,20$ A.

- Iluminación del área Maduración y Despacho: Cuenta con luminarias fluorescentes T8, con reactancias magnéticas y lámparas halógenas en áreas menores. La carga para luminarias se estima en $\sim 30\text{--}45 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ rango 2,4–3,6 kW.
- Iluminación interna por contenedor (3 unidades): Cuenta con luminarias estancas resistentes a humedad; se presume fluorescencia o LED de baja potencia, con una carga típica de 100–300 W.
- Sistema de ventilación y recirculación de aire forzado: motores para recirculación en cada contenedor y en el área de fraccionamiento, con potencias variables (entre 0,25–1,5 kW por ventilador).

A partir de los datos relevados, se realizó una estimación rápida de demanda y consumos, en el cual se obtuvieron los siguientes cálculos (cabe destacar que los mismos son orientativos):

- 2 motores frigoríficos: $2 \times 14,79 \text{ kW} \approx 29,6 \text{ kW}$.
- 3 motores frigoríficos: $3 \times 9,98 \text{ kW} \approx 29,9 \text{ kW}$.
- Iluminación área de maduración y fraccionamiento: $\approx 4,2 \text{ kW}$.
- Iluminación contenedores + controles + ventilación + auxiliares: $\approx 4 \text{ kW}$.
- Potencia activa total estimada $\approx 67,7 \text{ kW}$.
- Corriente total estimada en 380 V trifásica: $I_{\text{total}} \approx 67700 \text{ W} / (\sqrt{3} \cdot 380) \approx 103 \text{ A}$.

Como resultado de lo analizado en los dos grandes sectores se destacan los siguientes puntos:

- Motor del sistema frigorífico de la materia prima (10 HP): motor IE2, con menor eficiencia que un motor IE3/IE4. Aporta un consumo significativo en comparación con otras máquinas. Su reemplazo o incorporación de VFD puede reducir consumo y picos de arranque.
- Motores del sistema frigorífico de Maduración y Almacenamiento: son motores IE2, de 15 HP y 10 HP respectivamente, de eficiencia menor que motores IE3/IE4; representan la mayor fracción del consumo. Su reemplazo o incorporación de VFD puede reducir consumo y picos de arranque.
- Iluminación antigua en la mayoría de las áreas, en especial de Maduración y Fraccionamiento: alta densidad de potencia y reactancias magnéticas/pérdidas; impacto directo sobre kWh consumidos.
- Arranques directos o estrella-triángulo en diferentes motores de gran potencia: generan picos de intensidad y mayor consumo transitorio; los arranques frecuentes degradan eficiencia y aumentan costos de demanda.
- Ausencia o limitación de telemetría/monitorización continua: sin medidor de energía por sección no hay datos horarios ni perfil de demanda, dificultando optimización.
- Factor de potencia y armónicos: motores con variadores o cargas no lineales (reactancias magnéticas, electrónica) pueden producir desbalance, bajo factor de potencia y armónicos; sin corrección, penalizaciones en tarifa y pérdidas en cables/transformadores.
- Tableros y cableados precarios: conexiones flojas, aislamiento deteriorado y protecciones mal ajustadas pueden aumentar pérdidas y riesgos de indisponibilidad.

RESULTADOS

A partir de los diagnósticos energéticos llevados a cabo se realizaron propuestas de eficiencia energética para los motores de mayor potencia y con gran impacto en el consumo eléctrico total, y de generación fotovoltaica. Además, al final de esta sección se agrega un apartado que resume una serie de recomendaciones técnicas tendientes a una mayor eficiencia de la planta.

Propuesta de Eficiencia Energética

A partir del relevamiento de las cargas eléctricas en la planta, se observa que el mayor potencial de reducción de energía está asociado a los motores de los sistemas de refrigeración. Para los motores eléctricos industriales, la clasificación IE (International Efficiency) es un estándar internacional que define distintos niveles de rendimiento energético. La categoría IE2 (los instalados actualmente) corresponde a una eficiencia estándar mientras que IE4 se clasifica como “super premium” y presenta menores pérdidas eléctricas y mecánicas. Adoptar un motor con eficiencia IE4 implica consumir menos energía para generar la misma potencia mecánica, lo que se traduce en una disminución directa de los costos operativos. Al mismo tiempo, la industria logra una mayor competitividad, ya que reduce el costo energético por cada unidad de producto fabricado. Esta mejora en la eficiencia energética también conlleva beneficios ambientales, ya que se reducen las emisiones indirectas de gases de efecto

invernadero por cada kg de queso producido. Asimismo, los motores IE4 suelen operar a temperaturas más bajas, lo que prolonga su vida útil y aumenta su confiabilidad.

Evaluación del retorno de inversión (ROI) para las cámaras de maduración

Se ha evaluado el reemplazo de un motor trifásico de 15 HP (11,19 kW) de clase de eficiencia IE2 por uno de igual potencia en clase IE4, a fin de determinar el ahorro energético anual y el tiempo de retorno de la inversión, ver Tablas 3 y 4.

Tabla 3: Cálculo del consumo de cada motor para las condiciones de operación

Tipo de motor	Potencia Nominal (kW)	Duty Cycle	Potencia Mecánica (kW)	Rend. (η)	Energía Eléctrica (MWh/año)
IE2	11,19	0,28	3,133	0,889	30,874
IE4				0,938	29,261

Tabla 4: Detalle de las variables económicas para calcular el ROI

Tipo de motor	Ahorro (MWh/año)	Costo energía (USD/MWh)	Ahorro (USD/año)	Costo Motor (USD)	Diferencia de precio (USD)
IE2	1,613	65,82	106,16	1.588,46	800,04
IE4				2.388,50	

De acuerdo a los resultados obtenidos en Tabla 3 y, con los datos que se muestran en Tabla 4 se puede evaluar la tasa de retorno ROI del siguiente modo:

$$ROI = \frac{\text{Diferencia de precio}}{\text{Ahorro anual}} = \frac{800,04}{106,16} = 7,54 \text{ años}$$

Evaluación del retorno de inversión (ROI) para las cámaras de almacenamiento

Se ha evaluado el reemplazo de un motor trifásico de 10 HP (7,46 kW) de clase de eficiencia IE2 por uno de igual potencia en clase IE4, a fin de determinar el ahorro energético anual y el tiempo de retorno de la inversión, ver Tablas 5 y 6.

Tabla 5: Cálculo del consumo de cada motor para las condiciones de operación

Tipo de motor	Potencia Nominal (kW)	Duty Cycle	Potencia Mecánica (kW)	Rend. (h)	Energía Eléctrica (MWh/año)
IE2	7,46	0,28	2,089	0,880	20,793
IE4				0,926	19,760

Tabla 6: Detalle de las variables económicas para calcular el ROI

Tipo de motor	Ahorro (MWh/año)	Costo energía (USD/MWh)	Ahorro (USD/año)	Costo Motor (USD)	Diferencia de precio (USD)
IE2	1,033	65,82	67,99	827,70	395,75
IE4				1.223,45	

De acuerdo a los resultados obtenidos en Tabla 5 y, con los datos que se muestran en Tabla 6 se puede evaluar la tasa de retorno ROI del siguiente modo:

$$ROI = \frac{\text{Diferencia de precio}}{\text{Ahorro anual}} = \frac{395,75}{67,99} = 5,82 \text{ años}$$

Resumen de la propuesta

La sustitución de motores IE2 por IE4 generará un ahorro anual de 1,613 MWh (10 HP) y 1,033 MWh (15 HP), equivalente a 106,16 USD y 67,99 USD, respectivamente. El tiempo estimado de recuperación de la inversión es de aproximadamente 7,5 y 5,8 años.

Aunque el periodo de retorno es relativamente largo, el cambio aporta beneficios energéticos y ambientales. Además, en un contexto tarifario y puede resultar más atractivo si el costo de la energía aumenta o si se consideran incentivos por eficiencia energética.

Si el recambio se realiza sobre los 5 motores (2 de 15 HP y 3 de 10 HP) el ahorro de energía será de 6,325 MWh. Este volumen de energía ahorrada significa un ahorro respecto del consumo total de energía eléctrica del 3 %.

Propuesta de Generación con Fuentes Renovables

De los relevamientos realizados se observa que el principal vector energético de la planta es la energía eléctrica. Por lo tanto, a fin de compensar el impacto ambiental producido por el consumo de energía eléctrica se propone la instalación de una planta solar fotovoltaica.

A partir de los datos de la red solarimétrica de la provincia de Santa Fe (Risso, 2015), se tiene que la producción de energía por cada kWp de planta fotovoltaica instalada en la localidad de Elortondo será de aproximadamente unos 1.540 kWh/(kWp año). A partir de este dato se propone instalar una planta fotovoltaica que genere alrededor del 10 % del consumo total que tiene la planta que se calculó en 230.240 kWh/año. Así, tenemos la siguiente potencia pico de la planta:

$$P_{nom} = \frac{23024 \text{ kWh/año}}{1540 \text{ kWh/kWp.año}} = 14,95 \text{ kWp}$$

Evaluación del retorno de inversión (ROI) para una planta FV de 15 kWp

Datos iniciales:

- Potencia: 15 kWp
- Producción año 1: $15 \times 1540 = 23100$ kWh
- Precio energía: 65,82 USD/MWh (0,06582 USD/kWh)
- Inversión inicial: $15 \times 820 = 12225$ USD
- Degradación anual: 1 %
- Horizonte de análisis: 25 años

Producción total en 25 años:

- Usamos la fórmula de suma geométrica con degradación:
- Producción total = $23.100 \times \frac{1-(0,99)^{25}}{1-0,99}$
- Producción total $\approx 23.100 \times 22,207 \approx 512.977$ kWh
- Ingresos totales: $512977 \text{ kWh} \times 0,06582 \text{ USD/kWh} = 33.726$ USD

Rentabilidad:

- Inversión inicial: 12.225 USD
- Beneficio neto: $33.726 \text{ USD} - 12.225 \text{ USD} \approx 21.501$ USD
- Payback simple (con 1.519 USD en el primer año menos 1 % anual): 8,6 años.

Resumen de la propuesta

La instalación de una planta FV de 15 kWp permite generar el 10 % del consumo total de la energía de la planta productiva. La inversión inicial de 12.225 USD (820 USD/kWp). La planta generará unos 23.100 kWh/año inicialmente (1.540 kWh/kWp), con una degradación anual del 1%, y la energía se valora en 65,82 USD/MWh. El flujo de caja acumulado supera la inversión en unos 8,6 años, y, considerando una vida útil de 25 años, la planta generaría 512.977 kWh, con ingresos totales de unos 33.800 USD. Este estudio preliminar no incluye costos de operación, subsidios o inflación, pero demuestra viabilidad económica con un retorno atractivo.

Recomendaciones técnicas

Para una mayor eficiencia del uso de la energía eléctrica en la planta, se detallan a continuación, una serie de recomendaciones aplicables de manera gradual:

- Medición y diagnóstico en sitio: instalar analizadores de red en el tablero de la sección por al menos 30 días de monitoreo en sistemas frigoríficos de Recepción de leche, Maduración y Almacenamiento.
- Sustitución progresiva de motores IE2 (los de mayores consumos) por motores de mayor eficiencia (IE3/IE4) o, si la aplicación requiere control de carga, instalar VFD adecuados con filtros de salida para reducir armónicos. Calcular ROI antes de sustitución estacionaria.
- En motores de pasteurizadora y compresor de aire, por el momento no se sugieren modificaciones, ya que su consumo es menor respecto a otros motores.
- Retrofit de iluminación: sustituir luminarias obsoletas por LED de alta eficiencia con drivers electrónicos y control por zonificación/ocupación + sensor crepuscular. Se recomienda mejorar la iluminación en algunos sectores productivos.
- Corrección del factor de potencia: mejorar y actualizar el banco de condensadores con control automático o soluciones de corrección activa para mantener factor > 0,95 si la facturación lo requiere.
- Implementar control y automatización: programar ciclos de ventilación y recirculación por demanda, interlocks con compuertas, horarios de iluminación en baja ocupación.
- Mantenimiento predictivo: termografía en bornes y motores, verificación de torque y alineación, limpieza de condensadores/evaporadores para mantener eficiencia frigorífica.

CONCLUSIONES

En una empresa láctea del sur de la provincia de Santa Fe se realizó un diagnóstico energético a través del relevamiento de las diferentes cargas eléctricas, junto con el análisis de energía en el Tablero de Comando General de la planta, mediante el analizador FLUKE 435-II, midiendo de manera continua durante varios días, que involucren todos los procesos y los diferentes días de trabajo. El diagnóstico involucró el análisis del consumo de energía de acuerdo a la eficiencia de los motores de mayor consumo, la eficiencia de diferentes cargas eléctricas como las luminarias y el impacto de la instalación de una planta fotovoltaica que genere el 10 % del consumo anual. En el caso de los motores de mayor consumo, se recomendó el cambio gradual de los mismos hacia motores de alta eficiencia (los actuales son de baja eficiencia, IE2), permitiendo un ahorro energético del 3 % y un impacto directo en los costos de producción. De la misma manera, se recomendó cambios graduales en las luminarias de tecnología antigua, de modo de disminuir la intensidad energética por área, además de disminuir el consumo de energía derivado de estas. Por último, en el caso de la planta fotovoltaica, se hizo un estudio sobre la instalación de un sistema de 15 kWp para cubrir el 10 % de la generación, el cual se demostró viabilidad económica para llevar adelante, con un payback simple de 8,6 años. Estas medidas, implementadas de manera gradual, permitirían disminuir los costos de producción, recuperar la inversión en un tiempo de 5 a 8 años y reducir de manera efectiva la huella de carbono de la empresa, lo que haría de ella una empresa alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y normativas locales de generación distribuida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado gracias al financiamiento otorgado por la Universidad Nacional de Rafaela y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

REFERENCIAS

- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA). (2025). *Matriz de generación eléctrica*. <https://cammesaweb.cammesa.com/>
- Fluke Corporation. (2013). *Service manual: Fluke 434, 435 three-phase power quality analyzer* (Rev. 2). Fluke Corporation. <https://www.testworld.com/wp-content/uploads/service-manual-fluke-434-435-three-phase-power-quality-analyzer.pdf>
- Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2025). *Lechería en Santa Fe: Tambos, vacas y producción de leche cruda*. <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/235296/>
- Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2005). *Ley Provincial N.º 12.503: Energías renovables*. Boletín Oficial.

- Gobierno de la Provincia de Santa Fe. (2006). *Ley Provincial N.º 12.692: Régimen de promoción de energías renovables*. Boletín Oficial.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2021). *Censo Nacional Económico 2020/21: Distribución de unidades productivas por rama de actividad*. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-49-167>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). (s.f.). *Buenas prácticas en refrigeración e iluminación industrial y comercial*. Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/inti/eficiencia-energetica>
- Argentina. Congreso de la Nación. (2017). *Ley N.º 27.424: Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública*. Boletín Oficial de la República Argentina, 27 de diciembre de 2017. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27424-275848>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Argentina. (2023). *Argentina innovadora 2030*. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/plan-nacional-cti/plan-cti>
- Provincia de Santa Fe. (2007). *Decreto N.º 158/07: Reglamentación de la Ley 12.692 (Secretaría de Energía como autoridad de aplicación)*. <https://www.santafe.gob.ar/ms/generfe/wp-content/uploads/sites/23/2018/11/DECRETO-158-07-Reglamentación-Ley-12.692.pdf>
- Provincia de Santa Fe. (2024, 18 de abril). *Ley N.º 14.259: Adhiérese la provincia de Santa Fe a la Ley Nacional N.º 27.424 de generación distribuida* (B.O. 26-abr-2024). <https://www.santafe.gob.ar/boletinoficial/ver.php?seccion=2024%2F2024-04-26ley14259-2024.html>
- Argentina. Ministerio de Hacienda. (2019, 11 de abril). *Resolución N.º 83/2019: Reglamentación del FODIS y FANSIGED, programas de financiamiento e incentivos para generación distribuida*. Boletín Oficial de la República Argentina. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/205434/20190411>
- Risso, G., Battioni, M., Cutrera, M., Bleger, D., & Schmidt, J. (2015, noviembre). Solar resource assessment in the province of Santa Fe for energy generation. En *Proceedings of the XXXVIII Argentinian Association on Renewable Energy and Environment Working Meeting* (Vol. 3, pp. 04.85–04.91). San Rafael, Argentina.
- Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo, Ministerio de Economía de la Nación. (2023-2024). *Informe de empleo registrado privado y dinámica de PyMEs en Argentina*. <https://www.argentina.gob.ar/>
- Secretaría de Gobierno de Energía de Argentina. (2019). *Informe de gestión: Eficiencia energética en Argentina*. Presidencia de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if-2019-97939676-apn-dneemha_ig_eficiencia_energetica_version_impresa.pdf

ENERGY ASSESSMENT AND PROPOSED ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY SOLUTIONS FOR A DAIRY PROCESSING PLANT IN SANTA FE PROVINCE

ABSTRACT This study presents an energy assessment of a dairy company located in the Santa Fe province. The research evaluates potential energy efficiency improvements through analysis of refrigeration motor consumption, while also proposing the integration of a small-scale photovoltaic plant capable of supplying approximately 10% of the facility's electricity demand. The methodology included on-site measurements using a FLUKE 435-II power analyzer, supplemented with data collection and processing related to production, provided by the company itself. The results showed that the gradual replacement of motors with higher efficiency ones would yield an annual energy saving of 3 %, while the photovoltaic plant would supply 10 % of the total consumption, with a simple payback of 8.6 years. These measures would reduce production costs while also lowering the company's carbon footprint, aligning it with the Sustainable Development Goals and regional distributed generation regulations.

Keywords: Energy efficiency, photovoltaic plant, motor efficiency, dairy industry, energy analysis.