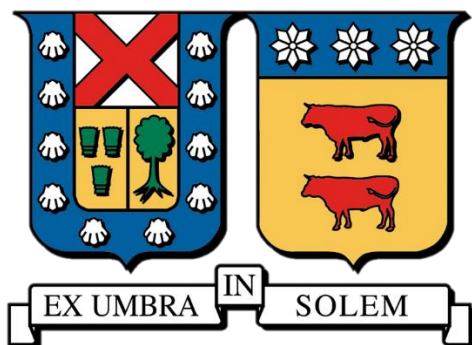


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL

SANTIAGO-CHILE



“PRODUCCIÓN CARBONO NEUTRAL DE LECHE Y DERIVADOS EN LA ZONA SUR DE CHILE”

IGNACIO ALEJANDRO KAHLER FORADORI

Memoria para optar al Título de
INGENIERO CIVIL QUÍMICO

Profesor Guía

Sr. PATRICIO NÚÑEZ

Profesor Co-referente

Sr. Rodrigo Benavides

Diciembre 2023

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta un proyecto de evaluación técnica y económica para implementar un sistema de refrigeración solar en la zona sur de Chile, con el propósito de reducir las emisiones asociadas a la producción de lácteos. Se enfoca en la planta de Nestlé en Cancura, Osorno, que se alinea con la visión internacional de la industria privada para reducir emisiones y lograr la neutralidad de carbono para 2050. La planta seleccionada, con una producción anual de leche cruda entre 200 y 300 millones de litros, sirve como referencia para el dimensionamiento del sistema.

El sistema de refrigeración se basa en plantas piloto de la Politécnica de Milán en el norte de África, utilizando colectores solares lineales fresnel y parabólicos para la captación solar. Este sistema utiliza amoníaco como refrigerante para enfriar la corriente de aire o líquido necesario para la refrigeración de las plantas lácteas, que requieren temperaturas de almacenamiento de 5°C.

La planta seleccionada presenta un consumo anual de 30 GWh/año, del cual el 78% corresponde a consumo eléctrico y de este porcentaje, un 60% corresponde a consumo de refrigeración. Por lo cual se plantea alcanzar 1,2 GWh/mes de potencia de frío.

Se logró modelar por medio de ASPEN HYSYS el sistema de refrigeración, logrando generar 10 MWh/mes por módulo de generación, necesitando así 121 módulos de colección y refrigeración, lo que utilizará una superficie de 60 ha. Este sistema alcanza un COP de 0,7 y considerando la eficiencia de 0,65 del colector, el proceso alcanza un COP_{Solar} de 0,47.

Ahora, debido a las fluctuaciones de temperatura a lo largo del año, el uso de los colectores para refrigeración oscilará a la misma tasa dejando colectores sin uso. Para lo cual, se planteó como solución implementar un sistema de ORC, modelado con ASPEN HYSYS, como complemento a la refrigeración para la generación de corriente eléctrica en aquellos módulos solares que no se necesite la producción de frío. Con este sistema se alcanza, a una eficiencia del 8%, con isopentano como fluido caloportador, una producción de 0,52 GWh/año. Reduciendo los costos generales de operación por costos eléctricos.

Finalmente, se evaluó la rentabilidad de implementar el proyecto evaluando 3 escenarios de financiamiento. En los cuales se consideró el financiamiento bancario, pago propio de la empresa o financiamiento por subvención estatal. En los 3 casos se obtuvo el aumento de precio unitario en 4 productos típicos de la industria para lograr la rentabilidad del proyecto, no superando los \$4 CLP/Producto en promedio. Además, se realizó una encuesta a 67 personas para determinar la disposición a pagar por productos de carácter renovable. Traduciendo esto en el aumento del VAN de los proyectos más allá de lo planteado inicialmente.

Con esto se comprueban la viabilidad técnica del proyecto y la rentabilidad que este tiene.

ABSTRACT

This document presents a technical and economic evaluation project for the implementation of a solar refrigeration system in the southern region of Chile, aiming to reduce emissions associated with the production of dairy products. It focuses on Nestlé's plant in Cancura, Osorno, aligning with the international industry's vision to reduce emissions and achieve carbon neutrality by 2050. The selected plant, with an annual production of raw milk between 200 and 300 million liters, serves as a reference for system sizing.

The refrigeration system is based on pilot plants from the Polytechnic University of Milan in North Africa, using linear fresnel and parabolic solar collectors for solar capture. This system uses ammonia as a refrigerant to cool the air or liquid necessary for the refrigeration of dairy plants, which require storage temperatures of 5°C.

The selected plant has an annual energy consumption of 30 GWh/year, with 78% of this consumption attributed to electrical usage. Out of this percentage, 60% corresponds to refrigeration consumption. Consequently, the goal is to achieve 1.2 GWh/month of cooling power.

Through modeling in ASPEN HYSYS, the refrigeration system was designed to generate 10 MWh/month per generation module, requiring 121 collection and refrigeration modules covering an area of 60 hectares. This system achieves a Coefficient of Performance (COP) of 0.7. Considering the collector's efficiency of 0.65, the process achieves a Solar COP (COP_{Solar}) of 0.47.

However, due to temperature fluctuations throughout the year, the use of collectors for refrigeration will vary at the same rate, potentially leaving some collectors unused. As a solution, it was proposed to implement an Organic Rankine Cycle (ORC) system, modeled with ASPEN HYSYS, as a complement to refrigeration for generating electrical power in those solar modules where refrigeration is not needed. With this system, an efficiency of 8% is achieved, using isopentane as the heat transfer fluid, resulting in an annual production of 0.52 GWh. This helps reduce overall operating costs by offsetting electricity expenses.

Finally, the profitability of implementing the project was assessed by evaluating three financing scenarios. These scenarios included bank financing, company self-funding, or state subsidy financing. In all three cases, an increase in the unit price of four typical industry products was considered to achieve project profitability, with an average increase not exceeding \$4 CLP per product. Additionally, a survey of 67 individuals was conducted to determine their willingness to pay for renewable products, which translated into an increase in the Net Present Value (VAN) of the projects beyond the initial projections.

This confirms the technical viability of the project and its profitability.

AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo a todos mis familiares que me acompañaron durante el camino, a mi madre Carolina, mi padre Iván y mis hermanas Carolina y Paula. Por su apoyo incondicional a pesar de todas las adversidades.

Le agradezco a mi profesor guía Sr. Patricio Núñez por la guía durante el proceso y toda la experiencia que me ha transmitido. Espero poder llegar a ser un profesional que aplique todas sus enseñanzas.

Además, agradecer a mis compañeros y amigos de la Universidad Técnica Federico Santa María: Benjamín, Diego, Sebastián, Diego, José Miguel, Tomás, Felipe. Que estuvieron a mi lado desde el primer día.

Finalmente, a la persona que me acompañó día a día en este proyecto y me permite darme cuenta de todos mis errores y fortalezas, mi polola María Jesús. Quién en todo momento confió en mí y que, con su compañía y amor incondicional, me brindó todas las facilidades para poder sacar adelante este trabajo. Y no dejo fuera tampoco, a nuestro perro Benny, que llegó para hacernos compañía de improvisto en todos esos fines de semana de trabajo.

“No importa lo que te digan, las palabras y las ideas pueden cambiar el mundo”-John Keating (Robin Williams).

“Los sueños de las personas.... ¡¡¡Nunca Mueren!!!”- Marshall D. Teach



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1. BASES TECNOLÓGICAS.....	9
1.1. DESARROLLO ACTUAL.....	9
1.2 OFERTA Y DEMANDA.....	12
1.3 CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA.....	14
1.4 CAPACIDAD GENERATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS A EVALUAR.....	15
1.4.1 ENERGÍA SOLAR.....	15
1.4.2 GEOTÉRMIA.....	16
1.5 ANÁLISIS Y ESQUEMA DE SUSTITUCIÓN.....	18
2. METODOLOGÍA.....	19
3. LÍNEA BASE.....	19
3.1 GEOTÉRMIA.....	19
3.2 SISTEMA AMONÍACO-AGUA.....	20
3.3 COLECTORES.....	22
3.4 CICLO DE RANKINE ORGÁNICO.....	25
3.5 INTEGRACIÓN ORC Y AMONÍACO.....	28
4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	31
4.1 CAPEX.....	31
4.2 OPEX.....	32
4.3 FLUJO DE CAJA.....	33
4.3.1 BASES.....	33
4.3.2 ESCENARIOS.....	34
4.3.3 DEPRECIACIÓN.....	34
4.3.4 FINANCIAMIENTO.....	34
4.4 RESULTADOS.....	36
4.4 ENCUESTA PÚBLICA Y RESULTADOS DE EVALUACIÓN.....	36

5. CONCLUSIONES.....	39
6. RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS.....	41
ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema simplificado de sistema de refrigeración solar (Ayadi et al, 2010). .	9
Figura 2: PFD simplificado del sistema de absorción amoniaco-agua.	10
Figura 3: Instalación en Túnez (Motta, 2010).....	11
Figura 4: Instalación en Marruecos (Motta, 2010).	11
Figura 5: Energías y temperaturas de entrada y salida del colector y Chiller (Ayadi et al., 2010).....	12
Figura 6: Oferta energética en la región de los lagos y demanda de planta (Coordinador Eléctrico Nacional, 2023; Universidad Técnica Federico Santa María, 2010).....	13
Figura 7: Distribución energética de planta y origen eléctrico y calorífico (Coordinador eléctrico nacional, 2023; Nestlé, 2023).	14
Figura 8: Radiación Solar global en el sector Cancura, Región de los Lagos (Ministerio de Energía, 2023).....	16
Figura 9: Potencial geotérmico de la Región de los Lagos (Lemus et al., 2015).	17
Figura 10: Ubicación geográfica de centros geotérmicos potenciales y planta Nestlé en Cancura (Google Maps, 2023).	18
Figura 11: Tabla resumen de costos en €/kW por tecnología (Fraunhofer, 2017).	Error! Marcador no definido.
Figura 12: PFD simplificado de planta termal por vapor directo (DiPippo, 1999).	20
Figura 13: Simulación en ASPEN HYSYS para proceso de absorción (Elaboración propia).....	21
Figura 14: Información comercial de colector de Industrial Solar (GIZ, 2014).	23
Figura 15: Dimensiones de colector solar de Industrial Solar (Industrial Solar, s.f.)....	24
Figura 16: Curva de eficiencia de colector LF-11 (Industrial Solar, s.f.).	25
Figura 17: Ciclo de Rankine Orgánico (IKERA, s.f.).....	26
Figura 18: ORC simulado por APSEN HYSYS (Elaboración propia).....	27
Figura 19: Fluctuación temperaturas en la región de Los Lagos (Weather Spark, 2023).	29
Figura 20: Distribución de uso anual de colectores (Elaboración propia).	29
Figura 21: Porcentaje de demanda cubierta por amoníaco-agua y sistema ORC.....	30
Figura 22: Superficie de 65 ha contigua a fábrica ejemplo Nestlé en Cancura, Región de Los Lagos (GOOGLE, 2023).	31
Figura 23: Resultados encuesta aumento de precio de 1 kg de queso.	37
Figura 24: Resultados encuesta aumento de precio de 1 litro de leche.....	37

Figura 25: Resultados encuesta aumento de precio de 1 litro de yogur	38
Figura 26: Resultados encuesta aumento de precio de 1 kg de leche en polvo.	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones de simulación en ASPEN HYSYS.	22
Tabla 2: Condiciones operacionales ASPEN HYSYS.	27
Tabla 3: Equipos a depreciar.....	34
Tabla 4: depreciación por periodo.	34
Tabla 5: Parámetros de financiamiento.....	35
Tabla 6: Tabla de amortización cuota fija.	35
Tabla 7: Resumen de aumento de precio según escenarios.	36
Tabla 8: Aumento promedio de precios de cada producto y VAN del escenario.	39

INTRODUCCIÓN

La industria agrícola es responsable, en el presente, del 24% de las emisiones de gases de efecto invernadero del país. Específicamente la industria láctea, en la Región De los Lagos, emite cerca de 1.2 Mton de CO₂-equivalente al año, producto del procesamiento de 1200 millones de litros en el mismo periodo de tiempo. Por esto, se ha propuesto una serie de medidas, desde lo público y lo privado, para mitigar estas emisiones en horizontes de tiempo al 2030 y 2050. Un ejemplo de esto es el compromiso de una reducción en un 30% de las emisiones totales de GEI para el 2030 desde el sector agrícola y ganadero. Desde el ámbito privado empresas como Nestlé, que está presente en la región, ha promulgado políticas de carbono neutralidad global con objetivo al año 2050 convirtiéndose en un impulsor e inversor de energías renovables.

En el marco de estas estrategias de sustentabilidad el objetivo principal, es promover una vida sana por medio de la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero en el ambiente de la región, además de aumentar el estándar de calidad de los productos lácteos que se consumirán por medio de estas medidas. Así, logrando una mejora en la calidad de vida de los habitantes de la zona. De esta manera se atrae a nuevos consumidores y habitantes a experimentar las condiciones de vida del sur del país desde otros sectores hacía el lugar a evaluar.

Tomando como ejemplo a Nestlé y su planta Cancura en la provincia de Osorno, en la región objetivo, se tiene que esta procesa entre 200 a 300 millones de litros anuales, lo cual equivale a un consumo energético promedio de 30 GWh/año. De este consumo energético, el 78% corresponde a energía eléctrica, y de este porcentaje, un 60% se destina exclusivamente a sistemas de refrigeración.

Si bien la matriz energética de la región de los lagos se compone en un 70% por energía hidráulica, 26% eólica y un 4% térmica, no implica una seguridad directa en el suministro de energía con carácter renovable a la planta Cancura u otras plantas donde pueda aplicarse el sistema, ya que la demanda específica de la industria representa entre el 1% y 2% de la oferta eléctrica y calorífica total de la región.

Por esto, el foco central de esta memoria corresponde a la implementación de un sistema de refrigeración capaz de suplir parte de esta demanda energética de enfriamiento, la cual, al variar estacionalmente, se debe asegurar un suministro frente a esta oscilación. Sabiendo bien, que las energías renovables dependen directamente de las condiciones atmosféricas de la zona.

El sistema en cuestión consiste en la cogeneración de energía solar por medio de colectores Fresnel, junto a evaluar otras alternativas renovables, para le generación de frío necesario.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad técnico-económica de implementar un sistema de refrigeración basado en energías renovables para una planta ubicada en la Región de los Lagos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar el sistema de refrigeración para el caso de estudio.
- Determinar la rentabilidad del proyecto.

1. BASES TECNOLÓGICAS

1.1. DESARROLLO ACTUAL

En los últimos 15 años esta tecnología ha sido desarrollada en Marruecos por parte de la universidad politécnica de Milán. El proyecto, bajo el nombre de MEDISCO (*MEDiterranean Food and agro industry applications of Solar COling technologies*) con una inversión de €2.5 MM, se enfoca en la prueba y optimización de los conceptos de refrigeración asociados a la industria de alimentos y la agricultura en la región mediterránea basado en tecnologías de cogeneración solar. Esta se complementa con el proceso de absorción agua-amoniaco por medio de enfriadores.

En la Figura 1: Esquema simplificado de sistema de refrigeración solar (Ayadi et al, 2010)., se muestra una simplificación del sistema de refrigeración, aplicado en Marruecos, que tiene como objetivo entregar una carga de frío hasta alcanzar los 5 °C en la refrigeración.

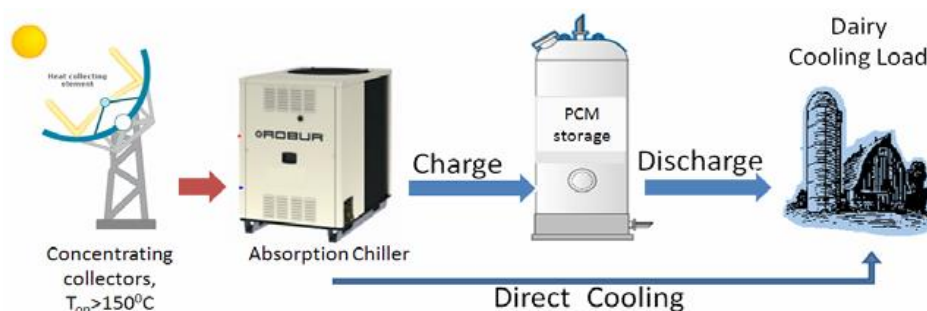


Figura 1: Esquema simplificado de sistema de refrigeración solar (Ayadi et al, 2010).

Para este proyecto, se establecieron los siguiente objetivos: Diseño de un sistema de medición y creación de un protocolo de monitoreo, Instalación y prueba de dos sistemas de cogeneración diseñados, medición de resultados empíricos de rendimiento en ambos casos, sintonización de parámetros operacionales y control bajo condiciones reales, creación de una base de datos, que servirá para futuras validaciones de modelos (Motta, 2010).

Ahora, resulta relevante explicar algunos conceptos y proceso involucrados en el proyecto. Primero, los colectores solares ocupados en el proyectos corresponden a un tipo de equipo, que su función es, por medio de espejos dispuestos en una orientación

que refleja la radiación solar hacia una tubería central, calentar agua hasta un rango de 190 a 400°C según las características.

El colector de mayor uso corresponde a los colectores de tipo Fresnel, como el presentado en la Figura 3: Instalación en Túnez ..

El objetivo de generar vapor a dicha temperatura, es enviarlo a un enfriador que funciona por absorción de amoníaco-agua. Proceso que, utiliza la capacidad del agua de absorber el amoníaco en solución. Este consiste en un ciclo de 5 etapas donde, primero, en el generador se calienta la mezcla de amoníaco y agua por medio del intercambio de calor con el vapor obtenido en los colectores, separando así el amoníaco del agua producto de la diferencia de fases. Luego, el amoníaco pierde calor en un condensador, bajando su temperatura para continuar a una etapa de expansión, con el objetivo reducir aún más su temperatura. A continuación, en el evaporador se produce la entrega de frío necesaria a los alimentos o depósito de frío, calentándose el amoníaco y entrando a la última etapa de absorción, donde el amoníaco burbujea en agua formando la solución, que nuevamente será bombeada al generador. Lo que se muestra en la Figura 2: PFD simplificado del sistema de absorción amoníaco-agua.

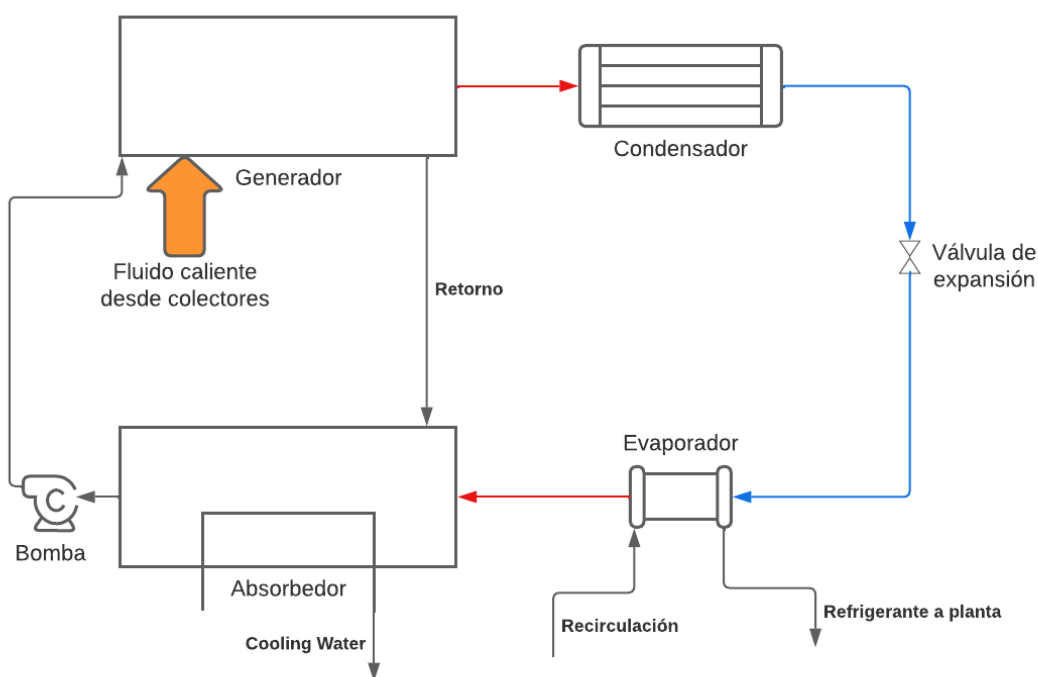


Figura 2: PFD simplificado del sistema de absorción amoníaco-agua.

Los dos sistemas implementados corresponden a “*Domaine Neferis*” en Túnez, representado en la Figura 3: Instalación en Túnez . y “*Best Milk*” en Marruecos, representado en la Figura 4: Instalación en Marruecos .



Figura 3: Instalación en Túnez (Motta, 2010).



Figura 4: Instalación en Marruecos (Motta, 2010).

La principal diferencia entre las instalaciones presentadas recae en la disposición y el tipo de colector utilizado. Sin embargo, ambas cumplen un objetivo común bajo el mismo sistema de monitoreo.

En la Figura 5: Energías y temperaturas de entrada y salida del colector y Chiller (Ayadi et al., 2010). se presenta, a modo de resumen, los resultados de las temperaturas alcanzadas en cada etapa del proceso.

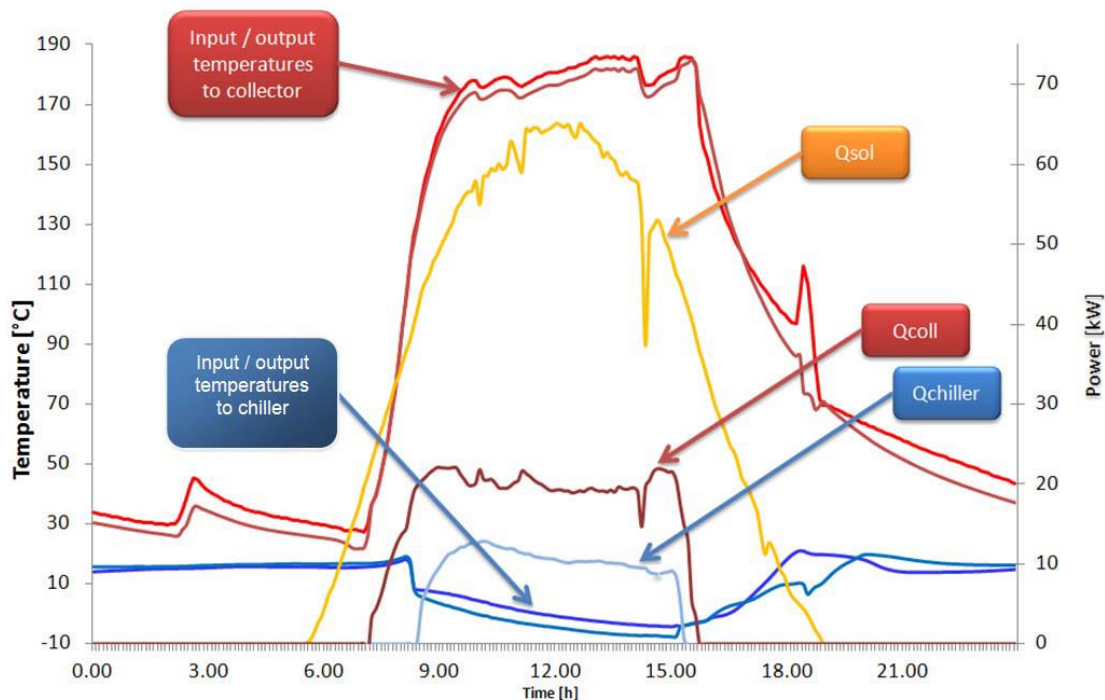


Figura 5: Energías y temperaturas de entrada y salida del colector y Chiller (Ayadi et al., 2010).

De esta figura se puede apreciar que, se logra obtener una temperatura de frío cercana a 0°C en la salida del Chiller para luego ser entregado al almacenamiento que refrigerará los productos por medio de ventiladores u otros equipos en los depósitos correspondientes.

Para evaluar el sistema anteriormente descrito, se necesita establecer una serie de parámetros respecto de la situación geográfica e industrial sobre la cual se analizará la implementación de este sistema.

1.2. OFERTA Y DEMANDA

La información recolectada de mayor relevancia corresponde a la oferta y demanda sobre la cual se realizarán las estimaciones para dimensionar el sistema de refrigeración. Así, tomando como ejemplo la planta láctea Nestlé de Cancura, en la provincia de Osorno, se logra obtener la siguiente información: Oferta energética caracterizada de la región y demanda de la planta en particular, radiación solar, superficie disponible para el desarrollo de la tecnología.

La Región de los Lagos tiene una oferta energética estacionara representada en la Figura 6: Oferta energética en la región de los lagos y demanda de planta (Coordinador Eléctrico Nacional, 2023; Universidad Técnica Federico Santa María, 2010), junto a la curva estimada de consumo en la planta Cancura.

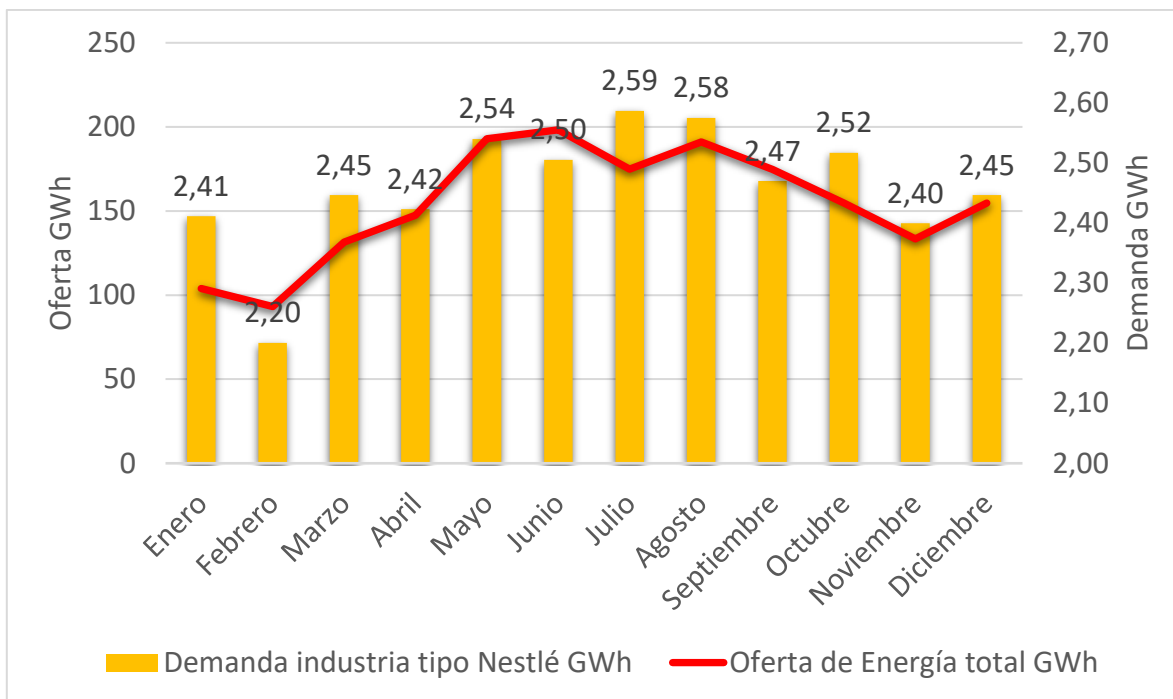


Figura 6: Oferta energética en la región de los lagos y demanda de planta (Coordinador Eléctrico Nacional, 2023; Universidad Técnica Federico Santa María, 2010)

Figura desarrollada específicamente para la planta mencionada, la cual recibe entre 200-300 millones de litros de leche al año, cuyo consumo privilegia el uso de energías limpias (50% de energía es generada por Caldera de Biomasa, 30% gas licuado y 20% energía eléctrica). Destacando su Caldera de Biomasa que permite reducir 10.400 toneladas de CO₂, comparado con una a carbón.

La planta, utiliza sólo el 50% de agua que ocupan en promedio las plantas lácteas de Nestlé en el mundo. Además, reutiliza el 90% del agua usada en los procesos. Esto permite un ahorro equivalente al consumo doméstico de una ciudad como Puerto Varas (Nestlé Chile, S.A., 2023).

Al momento de su fundación, se consideró la planta láctea más moderna de Nestlé en el mundo, con un consumo promedio estimado de 0,1183 kWh por cada litro de leche procesado (UTFSM, 2010).

Junto a lo anterior, Nestlé tiene un compromiso de carbono neutralidad para 2050, donde, por ejemplo, ya en España implementa tecnologías de eficiencia energética como la absorción para sus sistemas de refrigeración. Los sistemas de absorción implementados actualmente tienen la capacidad de cubrir el 70% de la demanda de una planta (Nestlé Chile, S.A., 2019; Nestlé España, S.A., 2012).

1.3. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA

Bien establecida la oferta y demanda y mencionada la distribución energética de la planta analizada, se debe profundizar en el origen de la energía eléctrica consumida de esta planta.

En el punto anterior se mostró que la oferta energética de la región oscila entre los 100 y 200 GWh, según la estación del año, donde en promedio el 70% de esta energía proviene de centrales hidráulicas, el 26% de energía eólica y el porcentaje restante de generación térmica.

Sintetizando los puntos anteriores, se construye la Figura 7: Distribución energética de planta y origen eléctrico y calorífico (Coordinador eléctrico nacional, 2023; Nestlé, 2023). de distribución del consumo de la planta en base a la oferta existente.

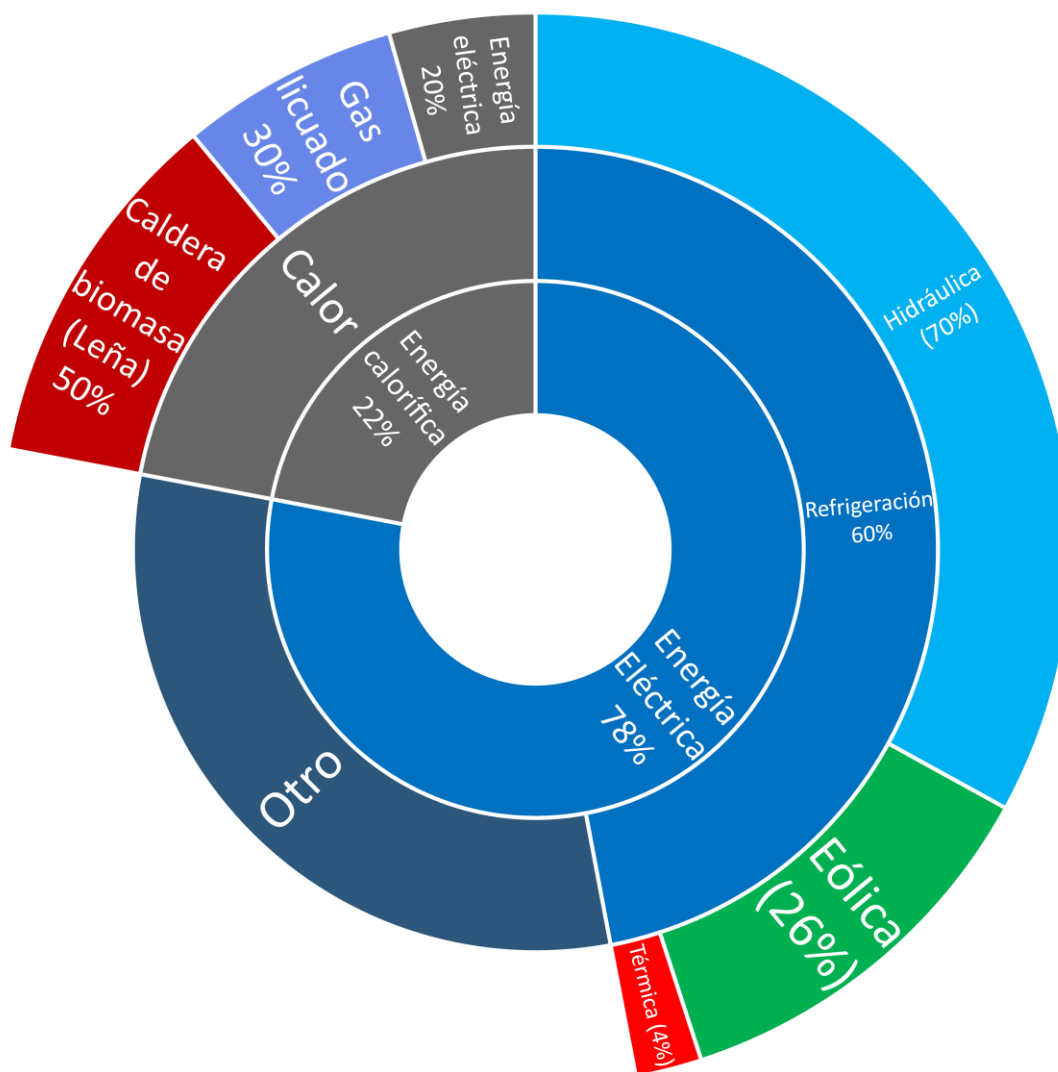


Figura 7: Distribución energética de planta y origen eléctrico y calorífico (Coordinador eléctrico nacional, 2023; Nestlé, 2023).

1.4. CAPACIDAD GENERATIVA DE LAS TECNOLOGÍAS A EVALUAR

Si bien el enfoque principal de la memoria es la implementación de sistemas de refrigeración solar, no se debe descartar el aporte directo que pueden ejercer otras tecnologías renovables sobre el proceso, como la energía geotérmica en términos caloríficos y la eólica e hidráulica en corriente eléctrica. Para ello, se determinó una serie de razones técnicas para evaluar el uso de energía solar y geotérmica, sabiendo bien que, la segunda tecnología no se encuentra desarrollada en la zona sur del país.

1.4.1. ENERGÍA SOLAR

El principal indicador técnico a comparar corresponde a coeficiente de *performance*, el cual indica, en este caso, la cantidad de frío que es posible generar por cada unidad de radiación recolectada o energía suministrada según la fuente, expresándose de la siguiente manera:

$$COP = \frac{Q_{Cool}}{Q_{solar} + Q_{aux} + E_{input}} \quad (1)$$

Donde, E_{input} corresponde a energía eléctrica auxiliar suministrable. Categoría en la cual se ubican la energía eólica e hidráulica de ser necesario.

Junto a esto, se establece que, en el caso específico de la energía solar, se debe considerar la eficiencia del equipo involucrado en la captura de radiación solar de la siguiente manera:

$$COP_{solar} = \eta_{Collector} \cdot COP \quad (2)$$

Ahora, definiendo una eficiencia de los colectores a utilizar del 0.5 y un COP del sistema de refrigeración solar de 0.7, se obtiene un COP_{solar} de 0.35, esto es, una transformación del 35% de la energía recolectada en frío a depósito (López, Ibarra, & Platzer, 2017).

Una vez definida la capacidad, se estudia la radiación solar de la zona. La cual, con una radiación promedio de 4 kWh/m²/día, se presenta en la figura 8, según estacionalidad.

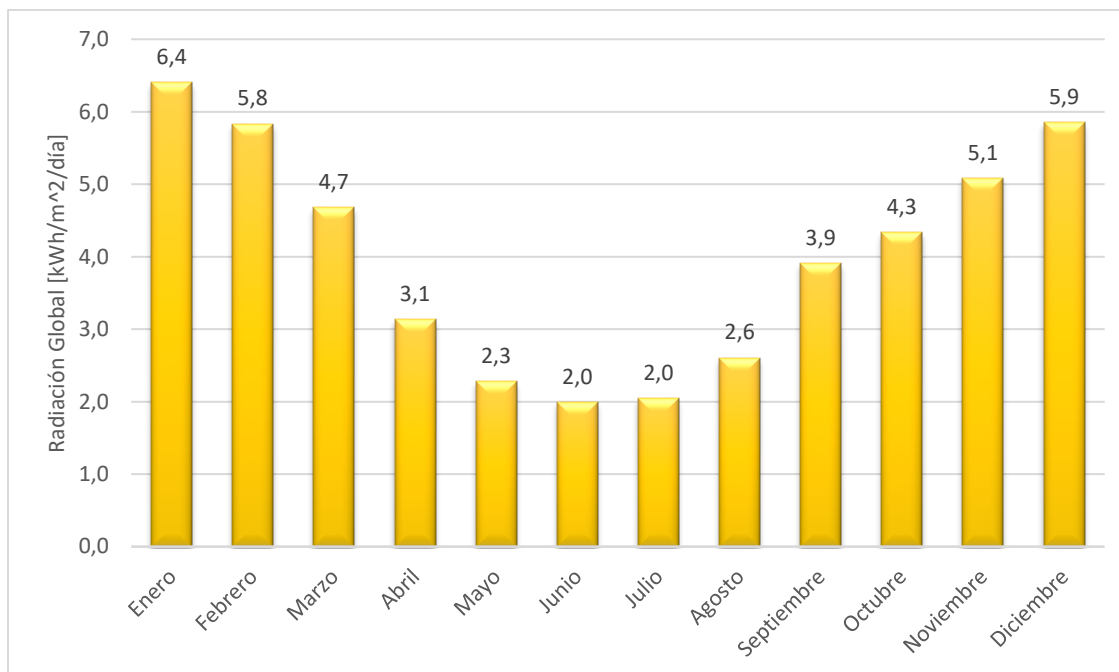


Figura 8: Radiación Solar global en el sector Cancun, Región de los Lagos (Ministerio de Energía, 2023).

De esta figura se presenta otra problemática a abordar. Debido a que, la época de mayor consumo energético, como se ve en la Figura 6: Oferta energética en la región de los lagos y demanda de planta (Coordinador Eléctrico Nacional, 2023; Universidad Técnica Federico Santa María, 2010), corresponde a la estación de menor radiación que es posible captar.

1.4.2. GEOTERMIA

Para el caso de la geotermia, a pesar de no ser una tecnología desarrollada a gran escala en esta zona del país, si existen estudios geotérmicos en la zona, siendo el complejo Antillanca y la cadena del estuario de Reloncaví las zonas de mayor potencial, según informa el Ministerio de Energía de Chile, junto al SERNAGEOMIN y el apoyo de la Universidad de Auckland, como se puede ver en la Figura 9: Potencial geotérmico de la Región de los Lagos (Lemus et al., 2015). (Jorquera, 2022).

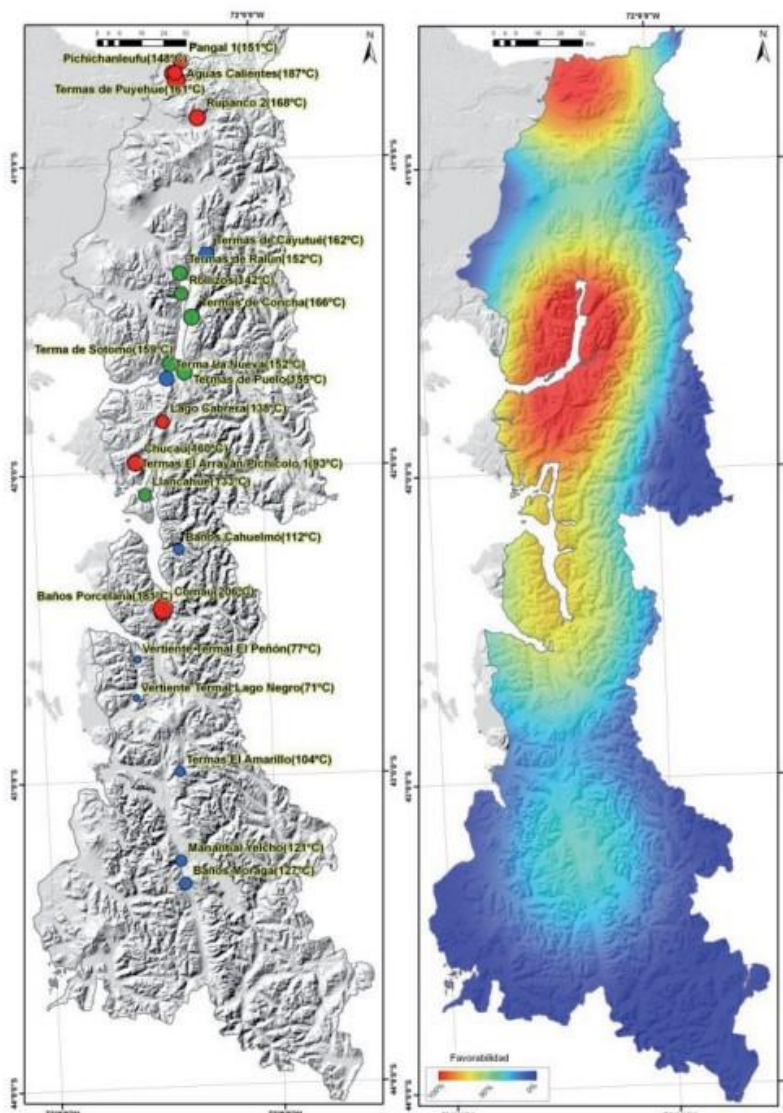


Figura 9: Potencial geotérmico de la Región de los Lagos (Lemus et al., 2015).

A pesar de no existir actualmente instalaciones geotérmicas para gran producción en estas zonas, se puede de igual manera estimar la eficiencia de este sistema en base al coeficiente de performance de manera generalizada.

Considerando que el sistema de generación de vapor por geotérmica presenta un COP igual a 3 y, como se mencionó con anterioridad, el sistema de refrigeración amoníaco-agua un COP de 0.5, se obtiene así un coeficiente global de 1.5, esto es, una transformación del 150% de la energía recolectada en frío que puede ser implementado.

Al igual que el caso anterior, este proceso considera su propia dificultad, además de no estar desarrollada actualmente, en términos del transporte de energía debido a las

distancias como puede apreciarse en la Figura 10: Ubicación geográfica de centros geotérmicos potenciales y planta Nestlé en Cancura ..

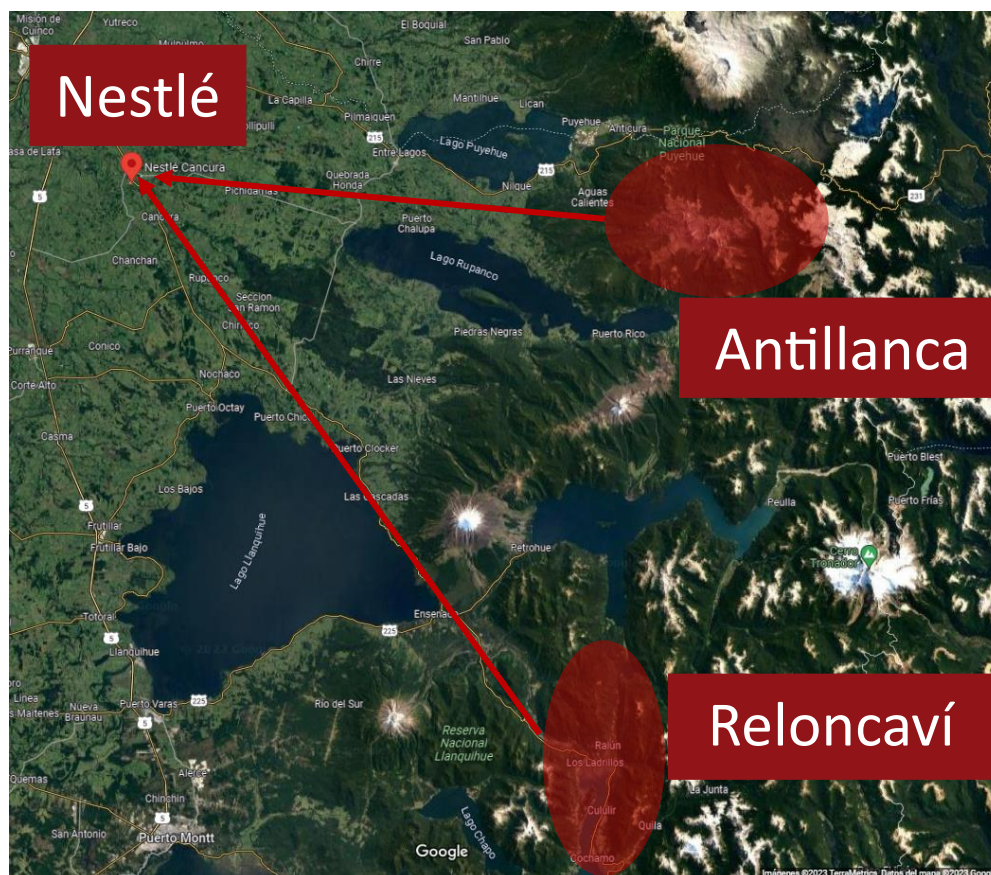


Figura 10: Ubicación geográfica de centros geotérmicos potenciales y planta Nestlé en Cancura (Google Maps, 2023).

Cabe destacar que el único caso de uso de energía geotérmica en la zona está presente en el Colegio Alemán de Puerto Varas.

1.5. ANÁLISIS Y ESQUEMA DE SUSTITUCIÓN

Para este tópico se debe evaluar la existencia de producto lácteos que sean producidos con energías renovables. Si bien, existen productos con sellos ecológicos, no existen en el mercado chileno derivados de leche que su matriz energética de producción sea carbono neutral. Por lo cual, no existe un competidor en el mercado para la etiqueta nueva que se le añade al producto lácteo que se está evaluando, ya que este mercado no está desarrollado en el país.

2. METODOLOGÍA

El trabajo de este proyecto se estructurará de la siguiente manera:

- Mercado de suministro: Identificar y caracterizar materias primas y servicios del proceso.
- Análisis de sustitución: Luego, se debe analizar que productos existentes en el mercado califican como competidores directos.
- Esquema de sustitución: Recolectada la información de los productos sustitutos, se debe estructurar, de manera esquemática, la manera en que estos compiten con el producto de análisis.

Estos tres primeros puntos pueden verse definidos dentro de la investigación realizada del estado del arte y antecedentes para entender las situación a evaluar. Mientras que los tres siguientes puntos corresponden a los relevantes para el dimensionamiento de la planta a evaluar.

- Línea Base: En esta primera etapa, se determinarán todos los flujos de materia y energía involucrados, tanto en el proceso, como en los servicios requeridos. Además, definir y caracterizar estos. Lo anterior en base al análisis de oferta y demanda recolectada anteriormente.
- Especificaciones de equipos: A continuación, se especificará los equipos involucrados para adaptarse a las necesidades de la demanda en la zona estudiada.
- Evaluación económica: Finalmente, se determinará la rentabilidad económica del proyecto, en base los parámetros técnicos obtenidos, por medio de indicadores económicos clave.

3. LÍNEA BASE

3.1. GEOTÉRMIA

Una de las alternativas mencionadas en la base de este proyecto, es el uso de energía geotérmica en el sistema de refrigeración, aprovechando la emisión natural de calor por salmuera de la tierra, para lo cual se evaluaron dos opciones:

La primera opción consiste en utilizar el fluido geotérmico para calentar directamente la solución de amoníaco y agua. Esto, a su vez, presenta dos opciones: Colocar la planta en el lugar de la extracción de salmuera geotérmica y luego transportar el frío generado o transportar el fluido geotérmico caliente hasta la planta. Si bien ambas opciones presentan procesos viables, el problema radica en la pérdida de la carbono neutralidad en ambos casos producto del transporte de la materia prima o el producto. Esto, tendría que realizarse por medio de vehículos motorizados o por medio de pipelines. Lo cual, produce una nueva incertidumbre, ya que la implementación de tuberías puede traer importantes frenos al desarrollo del proyecto, considerando distancias mayores a 100 km de pipeline producto de la lejanía del cordón activo hasta la planta evaluada, ya que

la intervención necesaria en obra producirá rechazo en la comunidad y se perderá la licencia social para llevar a cabo del proyecto.

La segunda opción evaluada consiste en la generación de energía eléctrica por medio del ciclo clásico implementado en las plantas geotérmicas como se ve en la Figura 11: PFD simplificado de planta termal por vapor directo . En este caso el fluido geotérmico genera directamente la corriente eléctrica, por medio de vapor, mientras que en la etapa de evaporación se genera el frío para el sistema de amoníaco. La dificultad de implementar esta opción es que la salmuera extraída de los depósitos debe retornar a temperaturas mayores a 70°C y en el proceso de enfriamiento se necesitan temperaturas menores a los 5°C (DiPippo, 1999).

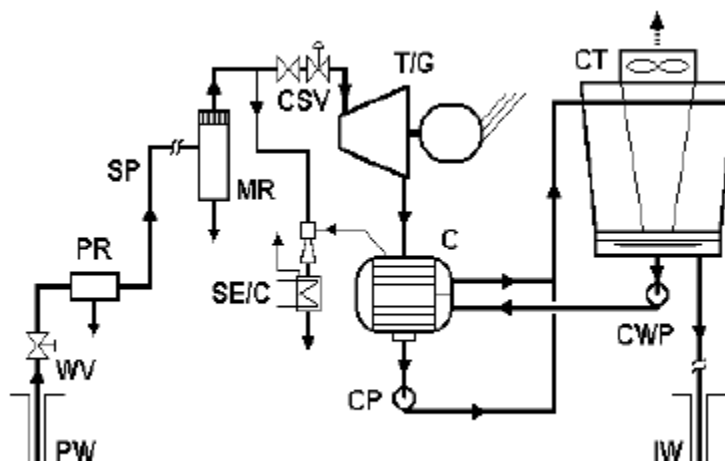


Figura 11: PFD simplificado de planta termal por vapor directo (DiPippo, 1999).

Por las razones expuestas anteriormente se descarta el uso de energía geotérmica para resolver el problema principal del documento y no se sigue adelante con los balances de materia y energía.

3.2. SISTEMA AMONÍACO-AGUA

Para determinar los balances de materia y energía del proceso principal del proyecto, se opta por trabajar con ASPEN HYSYS, herramienta que permite simular de manera efectiva por medio del proceso equivalente en la Figura 12: Simulación en ASPEN HYSYS para proceso de absorción (Elaboración propia). en base a lo realizado en el documento “Simulación y análisis de un sistema de refrigeración por absorción solar intermitente” (Ramírez et al., 2015).

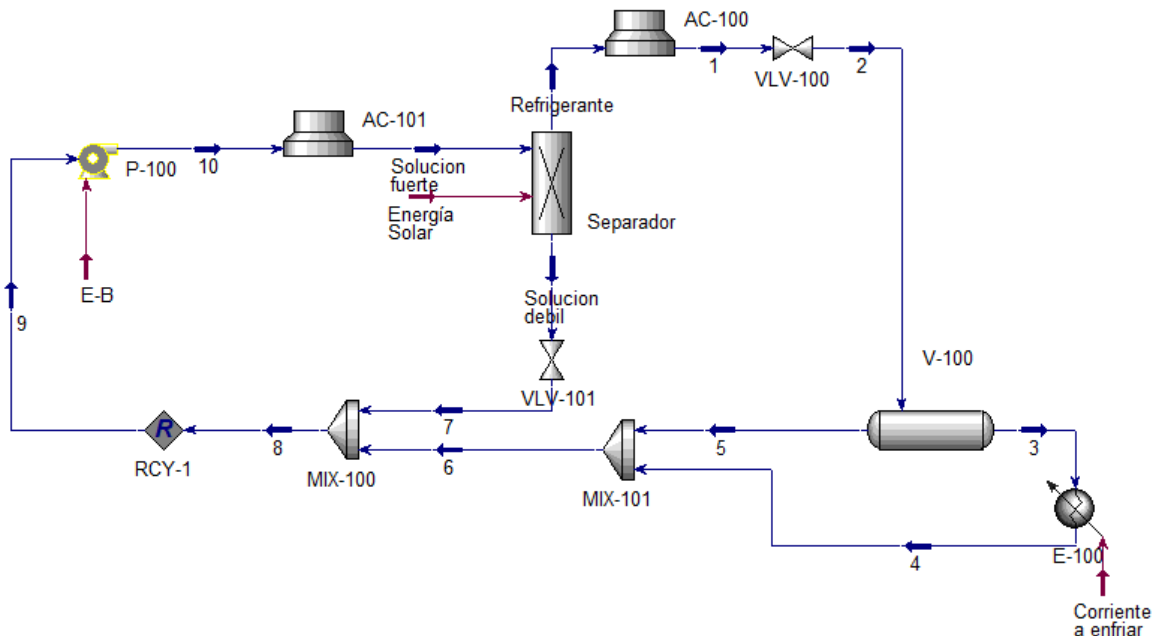


Figura 12: Simulación en ASPEN HYSYS para proceso de absorción (Elaboración propia).

La configuración presentada en la figura permite emular la separación que sufre la solución de amoníaco con agua, debido a que el software no cuenta con los equipos específicos para simular el proceso presentado en el marco teórico de esta memoria. Sin embargo, se cumple la misma función.

La primera etapa importante a mencionar es la del separador, simulado con un *component splitter*. En esta etapa, una corriente de 100 kg/h de amoníaco y agua, con una concentración de amoníaco al 54% p/p, ingresa al equipo, que intercambia calor con el fluido caliente del colector, a una temperatura de 60 °C donde recibe 19,44 kW de energía solar. La función del separador es obtener una corriente rica en amoníaco y una diluida, por lo cual se simula una obtención de una corriente al 98% p/p de amoníaco en el tope, lo cual emula al compuesto evaporado en el ciclo teórico, para luego ingresar a las siguientes etapas. Este fluido a una temperatura mayor debe alcanzar temperaturas bajo 0°C para lograr el enfriamiento necesario, por lo cual ingresa a un enfriador de aire, simulado a condiciones de T en invierno de 15°C en la entrada, para reducir su temperatura. Luego, la corriente pasa por una etapa de expansión en la válvula donde alcanza una presión cercana a 1 bar y una temperatura de -32°C, permitiendo una diferencia de temperatura cercana a los 30°C de criterio para el evaporador. Ahora, esta corriente se obtiene con calidad de líquido vapor al 22%, por lo cual se opta por realizar una etapa de separación de fases con el fin de que la corriente líquida mayoritaria sea la que aporte el calor latente de su vaporización en el equipo evaporador. Una vez la corriente para por el evaporador, entrega una potencia de 14 kW de frío. Así finalmente las corrientes se mezclan y se recirculan hacia el separador nuevamente.

En esta simulación se considera la corriente de solución débil como el remanente de agua que no ha sido evaporada tradicionalmente en el evaporador del ciclo teórico, la cual se mantendrá y absorberá al amoníaco utilizado para enfriar.

En la siguiente tabla se presentan algunas condiciones de operación relevantes del proceso:

Tabla 1: Condiciones de simulación en ASPEN HYSYS.

<i>Separador</i>	T_{in} solución $NH_3 - H_2O$	60	°C
	Potencia solar	19,44	kW-th
	T_{out} refrigerante	72	°C
	T_{out} solución débil	192	°C
	Presión de vaporización	1310	kPa
	Concentración amoníaco en la entrada	54%	p/p
	Concentración amoníaco en refrigerante	98%	p/p
	Concentración amoníaco solución débil	0	p/p
<i>Air Cooler-100</i>	T_{in} aire	15	°C
	T_{out} refrigerante	30	°C
	ΔP	8,274	kPa
	Calidad _{in}	100%	
	Calidad _{out}	0%	
<i>Válvula de expansión</i>	P_{in}	1302	kPa
	P_{out}	101,7	kPa
	T_{out}	-32,86	°C
<i>Evaporador</i>	Potencia de frío entregada	14,08	kW-th

Teniendo esta información puede calcularse la eficiencia del proceso en base a las ecuaciones (1) y (2) de manera simplificada en base al colector como:

$$COP = \frac{Q_{Cool}}{Q_{solar}} = \frac{14,08}{19,44} = 0,72$$

Y el COP solar como:

$$COP_{solar} = \eta_{Collector} \cdot COP$$

Donde la obtención de eficiencia del colector se explicará en el siguiente punto.

3.3. COLECTORES

Expuesto lo anterior, es necesario encontrar la eficiencia del colector para poder determinar el coeficiente de rendimiento del proceso y así poder determinar la cantidad de colectores necesarios para lograr el objetivo. Para esto, se investiga los colectores disponibles en el mercado y se selecciona en base a los siguientes criterios:

- Dimensiones de baja envergadura.
- Que se encuentre comercialmente en el país.
- Que permita el uso de aceite térmico.

En base a esto, se decanta por escoger el siguiente producto:

Empresa	INDUSTRIAL SOLAR 
Sitio web	www.industrial-solar.de
Producto Fresnel	Colectores para calor de procesos
Altura del colector	4m
Ancho del colector	7,5m
Tipo de receptor	Un solo tubo de vacío con un reflector secundario
Número de filas de espejos por serie	11
Ancho del espejo	0,5m
Apertura del área seguida por un solo motor	24m ²
Personal en CSP / Fresnel	16

Industrial Solar sólo ofrece colectores para la generación de calor para los procesos industriales y para los proyectos de refrigeración solar. El fluido caloportador preferido es el agua, ya sea dentro de un circuito de agua a presión o dentro de una configuración de generación directa de vapor, con el objeto de directamente suministrar vapor saturado al cliente. La empresa también ofrece el aceite térmico como fluido caloportador, si el cliente requiere temperaturas más altas.

El principio de diseño preferido son las instalaciones en el techo de edificios industriales (ver la Ilustración 17). Todos los componentes de los colectores se pueden manejar sin necesidad de maquinaria pesada, lo cual es un factor importante en la instalación en techos. La producción de los espejos primarios se realiza en el lugar con personal local.

Industrial Solar es la empresa con el número más alto de proyectos Fresnel realizados a nivel mundial. Desde 2005, la empresa ha instalado proyectos en Alemania, Italia, España, Túnez, Abu Dabi, Catar y Sudáfrica.

Figura 13: Información comercial de colector de Industrial Solar (GIZ, 2014).

El colector seleccionado puede verse representado en la Figura 14: Dimensiones de colector solar de Industrial Solar (Industrial Solar, s.f.).

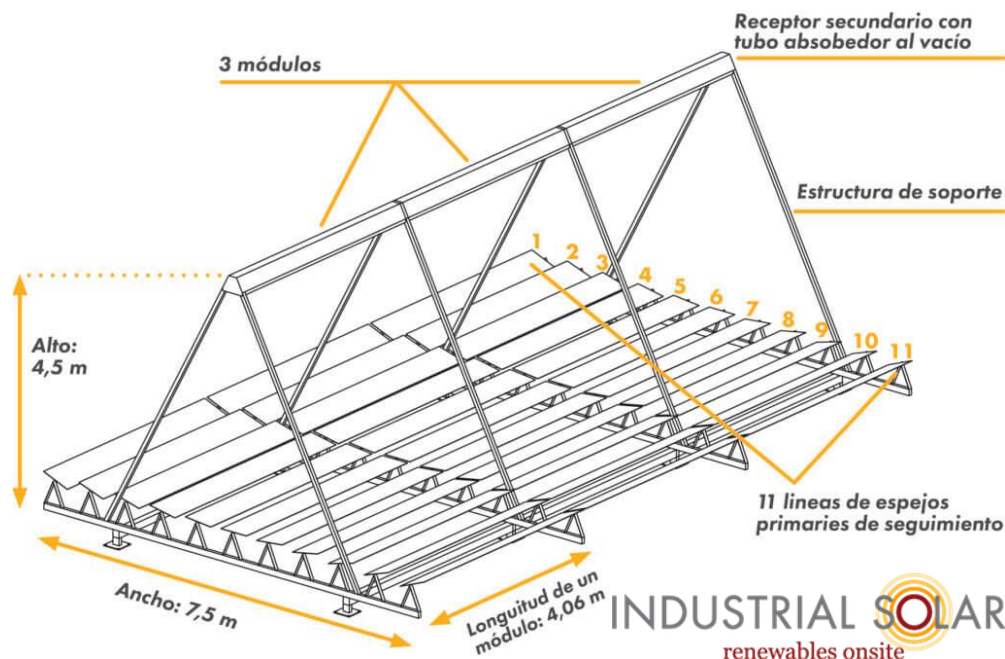


Figura 14: Dimensiones de colector solar de Industrial Solar (Industrial Solar, s.f.).

En base a la ficha técnica del producto se puede determinar el comportamiento de la eficiencia del colector a distintas radiaciones solares como se presenta en la Figura 15: Curva de eficiencia de colector LF-11 (Industrial Solar, s.f.). Así, para una radiación incidente de 1000 W/m^2 se ve que la eficiencia disminuye en función del aumento de la temperatura del fluido utilizado, por lo cual a los 320°C que se desea operar el aceite térmico la eficiencia es $\sim 65\%$.

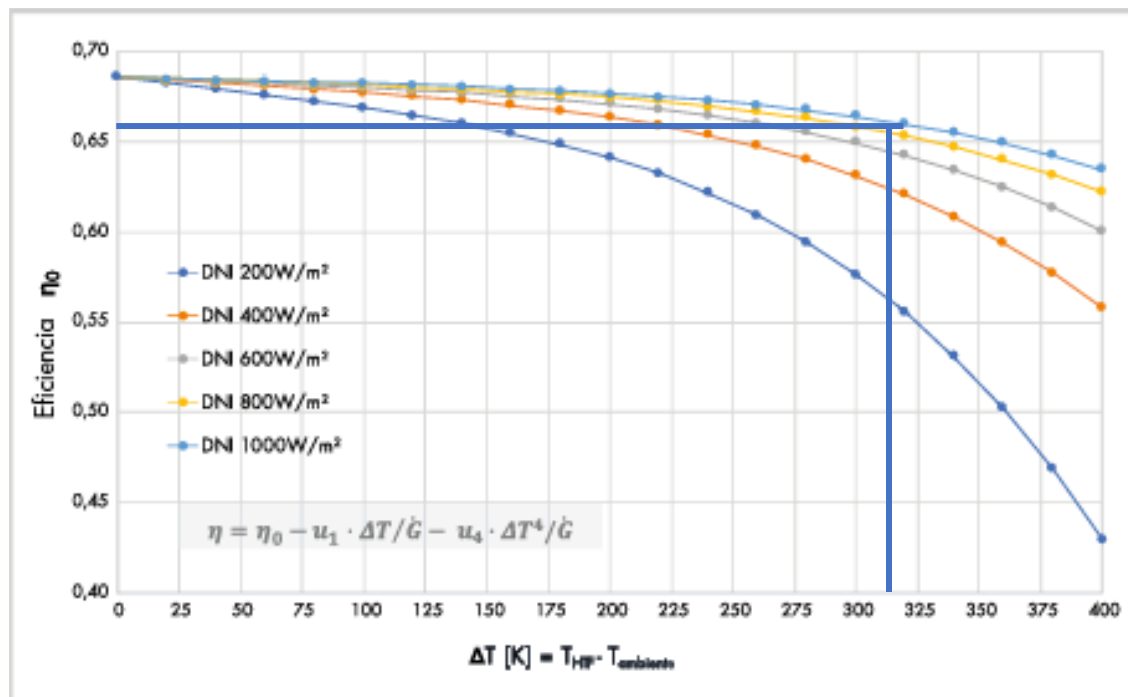


Figura 15: Curva de eficiencia de colector LF-11 (Industrial Solar, s.f.).

Con esta información, se obtiene que el coeficiente de rendimiento solar del proceso corresponde a:

$$COP_{solar} = 0,65 \cdot 0,72 = 0,47$$

Lo cual se traduce en que el 47% de la radiación total capturada puede ser transformada en frío para procesos.

Ahora, bien se ha mencionado constantemente el uso de aceite térmico en vez de vapor de agua como se expresa en el marco teórico de la memoria. Esto es debido principalmente a que “como fluidos caloportadores se usan el agua a presión, vapor directo o aceite térmico, según los requisitos del cliente con respecto a la temperatura de operación. Mientras que el agua a presión generalmente se usa como portador de calor para temperaturas de hasta aproximadamente 220°C, el aceite térmico se prefiere para las temperaturas superiores a 250°C.” (GIZ, 2014, p. 23).

El aceite escogido corresponde al fluido Shell Thermia Oil B es “un aceite mineral puro de baja viscosidad, baja tensión de vapor y alta resistencia a la oxidación” (Shell, 2005). Este fluido permite alcanzar temperaturas de hasta 320°C.

3.4. CICLO DE RANKINE ORGÁNICO

Habiendo resuelto las condiciones necesarias de operación por medio de ASPEN HYSYS para la determinación de cuanto frío puede producirse con el sistema de absorción y estimada la fluctuación del uso de colectores durante el año, se presenta una nueva posibilidad antes no evaluada en la premisa del proyecto. Ya que, para los colectores se

decide utilizar aceite térmico que permite alcanzar elevadas temperaturas en el proceso y no todos los colectores estarán activos durante las estaciones del año, se propone el aprovechar los colectores que no estén siendo utilizados para la generación de frío y producir corriente eléctrica aprovechable en la planta. Para esto, se implementa un ciclo de Rankine orgánico, ORC por sus siglas en inglés.

El ciclo mencionado, puede verse en la Figura 16: Ciclo de Rankine Orgánico. opera de igual manera que los procesos presentados anteriormente, con la particularidad de que el fluido utilizado en este caso será isopentano. El cual circulará por el ciclo ORC, no por los colectores, para dejar esa información en claro. Esta elección es debido a la baja toxicidad del compuesto y su bajo impacto ambiental en comparación a otros fluido utilizados generalmente como el Tolueno que, si bien presenta ventajas técnicas en su implementación, debido a su toxicidad y peligrosidad se descarta. Ahora, no solo debido a sus características toxicológicas es elegido el isopentano, sino que también, permite alcanzar altas temperaturas dentro del ORC, ya que el aceite térmico por los colectores alcanza un máximo de 320°C , se opera el ciclo de Rankine a una temperatura máxima de unos 30°C menor a la temperatura máxima de los colectores. Lo anterior es debido a que mientras mayor sea la temperatura del fluido que ingresa a la turbina, mayor es la eficiencia de esta (Palmay, Montúfar, & Andrade, 2020).

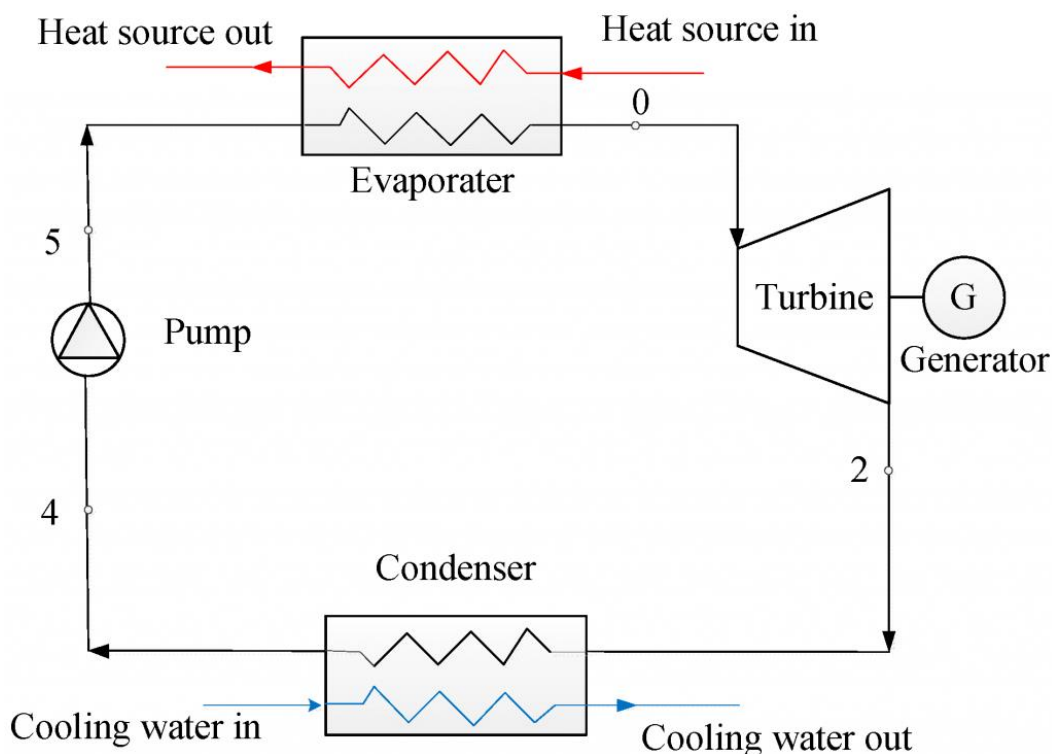


Figura 16: Ciclo de Rankine Orgánico (IKERA, s.f.).

Para el desarrollo de los balances de materia y energía, se utiliza nuevamente el software ASPEN HYSYS obteniendo el ciclo de la figura Figura 17: ORC simulado por APSEN HYSYS (Elaboración propia).

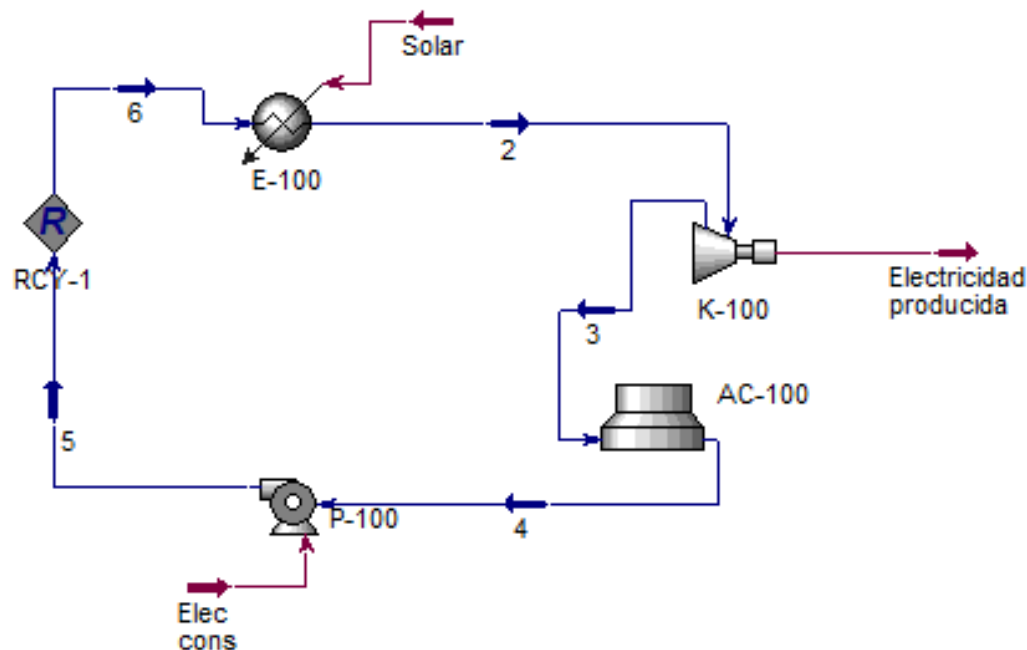


Figura 17: ORC simulado por APSEN HYSYS (Elaboración propia).

La simulación de este proceso se realiza en base a aplicar 547.591,59 kJ/h o una potencia equivalente a 152,1 kW de energía solar, para comprender en una unidad más próxima al uso comercial.

Ahora, las condiciones operacionales del proceso se entregan en la siguiente tabla:

Tabla 2: Condiciones operacionales ASPEN HYSYS.

Evaporador	Potencia consumida	152,1	kW
	T_{in}	114,2	°C
	T_{out}	290	°C
	Flujo	814	kg/h
	ΔP	55,16	kPa
Turbina	P_{in}	2894	kPa
	P_{out}	935,7	kPa
	ΔT	-30	°C
	Potencia producida	12,09	kW
Air Cooler	ΔP	20,68	kPa
	$T_{in \text{ aire}}$	15	°C
	$T_{in \text{ orgánico}}$	260	°C
	$T_{out \text{ orgánico}}$	111,7	°C
Bomba	Eficiencia adiabática	75	%
	P_{in}	915	kPa
	P_{out}	2949	kPa
	Potencia consumida	1,202	kW

Con estos balances realizados se puede determinar la eficiencia del proceso. Ya que, por cada 152,1 kW consumidos en el evaporador, se producen 12,09 kW en la turbina, considerando un consumo de 1,2 kW en la bomba. Por lo cual, el proceso alcanza una eficiencia calculada por:

$$\eta_{Ciclo} = \frac{|\sum_{i=1}^2 W_i|}{Q_{Evaporador}}$$

$$\eta_{Ciclo} = \frac{|12,09 - 1,202|}{152,1} = 0,072$$

Así, se obtiene una eficiencia del 7,2% del proceso total.

Teniendo esta información, se puede determinar cuántos colectores se utilizarán en simultaneo para la producción de corriente eléctrica en base a esta relación de generación.

3.5. INTEGRACION ORC Y AMONÍACO

Expuesta la base para determinar la cantidad de colectores en los puntos anteriores, se determina que para lograr una generación de frío de ~1,2 GWh/mes, considerando que 1 módulo de amoníaco producirá 10 MWh/mes de frío, por cada 14 MWh/mes de energía térmica solar, se necesitará 121 módulos para suplir esta demanda. Lo cual implica el uso de 15 colectores por cada módulo para alcanzar la demanda térmica del sistema de refrigeración.

Lo anterior se determina en base a que, para una radiación de 1 kWh/día/m², equivalente a 150 kJ/h/m², se necesitan 467 m² de superficie de contacto para generar los 70000 kJ/h del módulo. Considerando ahora la eficiencia de 0,47 del proceso, se obtiene:

$$\text{Área colectores real} = \frac{\text{Área teórica}}{COP_{solar}} = \frac{467}{0,47} = 991 \text{ m}^2/\text{módulo}$$

Con lo cual, se utiliza también la información de la ficha técnica del equipo, que este cuenta con 69 m² de espejos entre sus 3 submódulos, que componen el colector, para calcular la cantidad de colectores por módulo. Obteniendo:

$$\frac{991 \text{ m}^2}{69 \text{ m}^2} = \sim 15 \text{ colectores}$$

Este número se redondea a 15 para su sobredimensionamiento y se obtiene así un área final de 1056 m² por módulo.

Para determinar la cantidad de módulos o colectores a utilizar en cada uno de los sistemas, según la estación del año, se realiza una estimación en base a la cantidad teórica de frío necesario. Ya que, durante la época de invierno, si bien se necesita mayor

energía, esto no es directamente proporcional al frío requerido. En esta estación del año se requerirá menos frío que, por ejemplo, en verano.

Para lo anterior, se toma en base a los datos de la fluctuación de la temperatura anual en la Región de Los Lagos, como se ve en la Figura 18: Fluctuación temperaturas en la región de Los Lagos., el cambio en la cantidad de módulos a utilizar para la producción de frío, presentado en la Figura 19: Distribución de uso anual de colectores (Elaboración propia)..

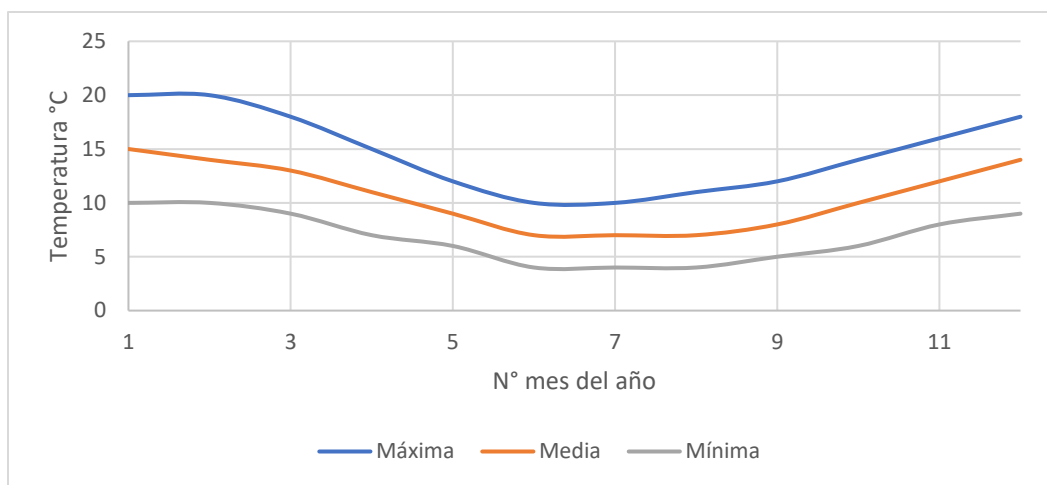


Figura 18: Fluctuación temperaturas en la región de Los Lagos (Weather Spark, 2023).

Esta fluctuación permite acercarse al comportamiento que debería tener el requerimiento de la cantidad de colectores, lo que implica un leve cambio en la cantidad utilizada según el mes.

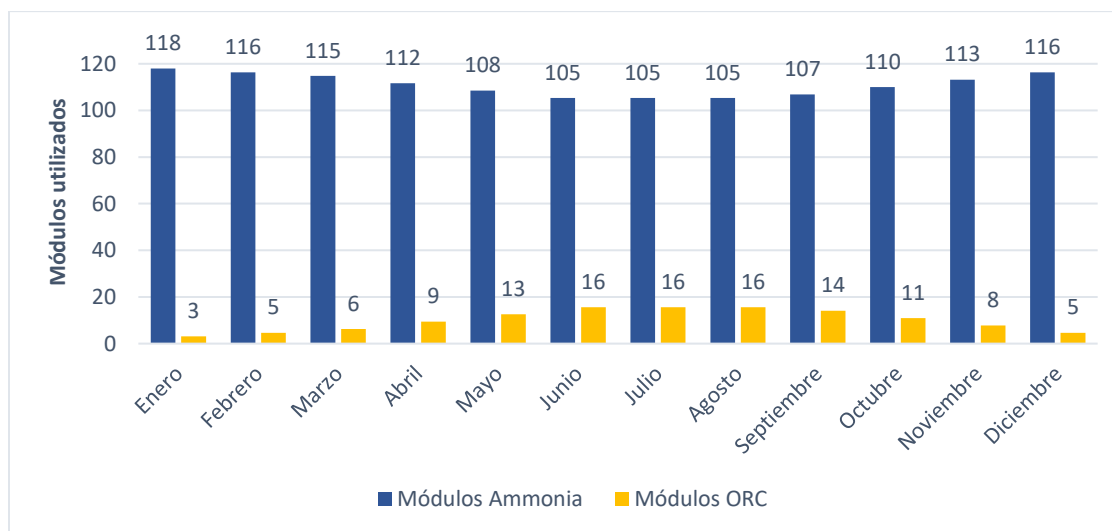


Figura 19: Distribución de uso anual de colectores (Elaboración propia).

Si bien existe también un cambio importante en la radiación solar durante las distintas épocas del año, esto no debiera alterar significativamente la cantidad de colectores a

utilizar, sino más bien, la cantidad de flujo necesario dentro del colector para alcanzar las temperaturas necesarias de operación. Por esto se aproxima en base al cambio de temperatura según la estación, el del uso de los CSP.

Ahora en la Figura 20: Porcentaje de demanda cubierta por amoníaco-agua y sistema ORC., se muestra la nueva distribución de la energía con los aportes del sistema compuesto por los CSP de amoníaco y ORC. Donde, se cubre completamente el requerimiento de energía térmica fría anual, se presenta la energía térmica faltante que estará cubierta, en el caso de evaluación, por una caldera, se muestra en color amarillo el aporte eléctrico del sistema de ORC dentro de la cantidad de energía eléctrica faltante representada en verde.

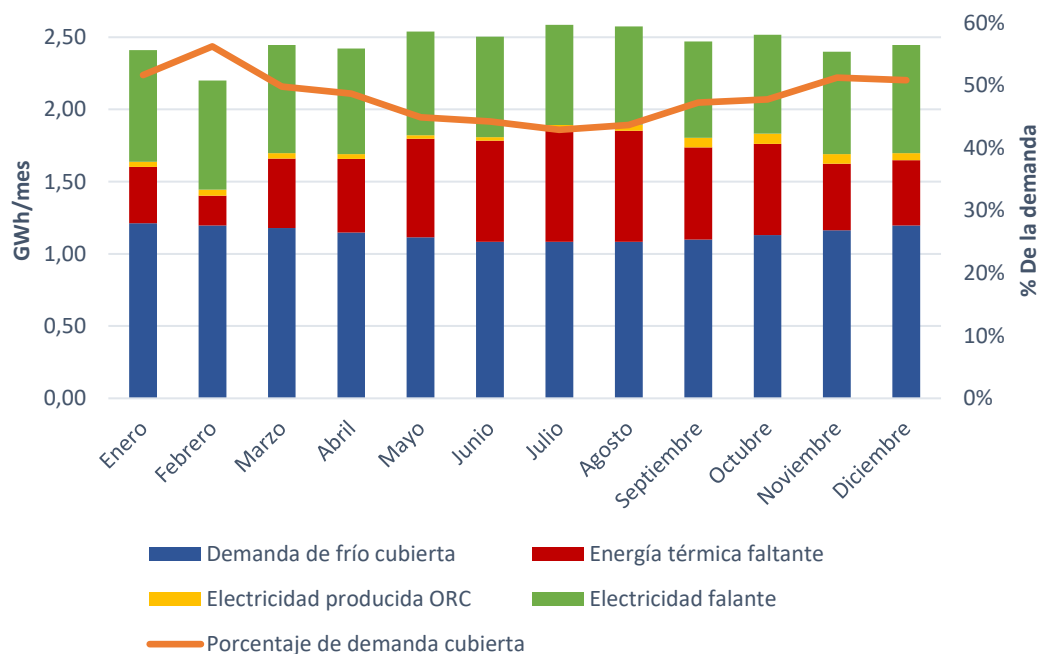


Figura 20: Porcentaje de demanda cubierta por amoníaco-agua y sistema ORC.

Con esto se alcanza aproximadamente entre un 45% y 60% de la demanda total, lo cual se verá reflejado en una disminución de los costos de producción.

Dicho lo anterior, cabe también mencionar las dimensiones que tendrá la planta, ya que se debe considerar la compra de terreno. Para esto, se estima que los 121 módulos, compuestos por un total de 1851 colectores, que poseen una superficie individual de 91 m² c/u, ocuparán un área mínima de 16 ha. Sin embargo, se debe considerar un factor de dimensionamiento de campo para plantas solares de 3.5. Con lo cual, se obtiene una superficie de ~60 ha. Lo anterior puede verse en la Figura 21: Superficie de 65 ha contigua a fábrica ejemplo Nestlé en Cancura, Región de Los Lagos ..

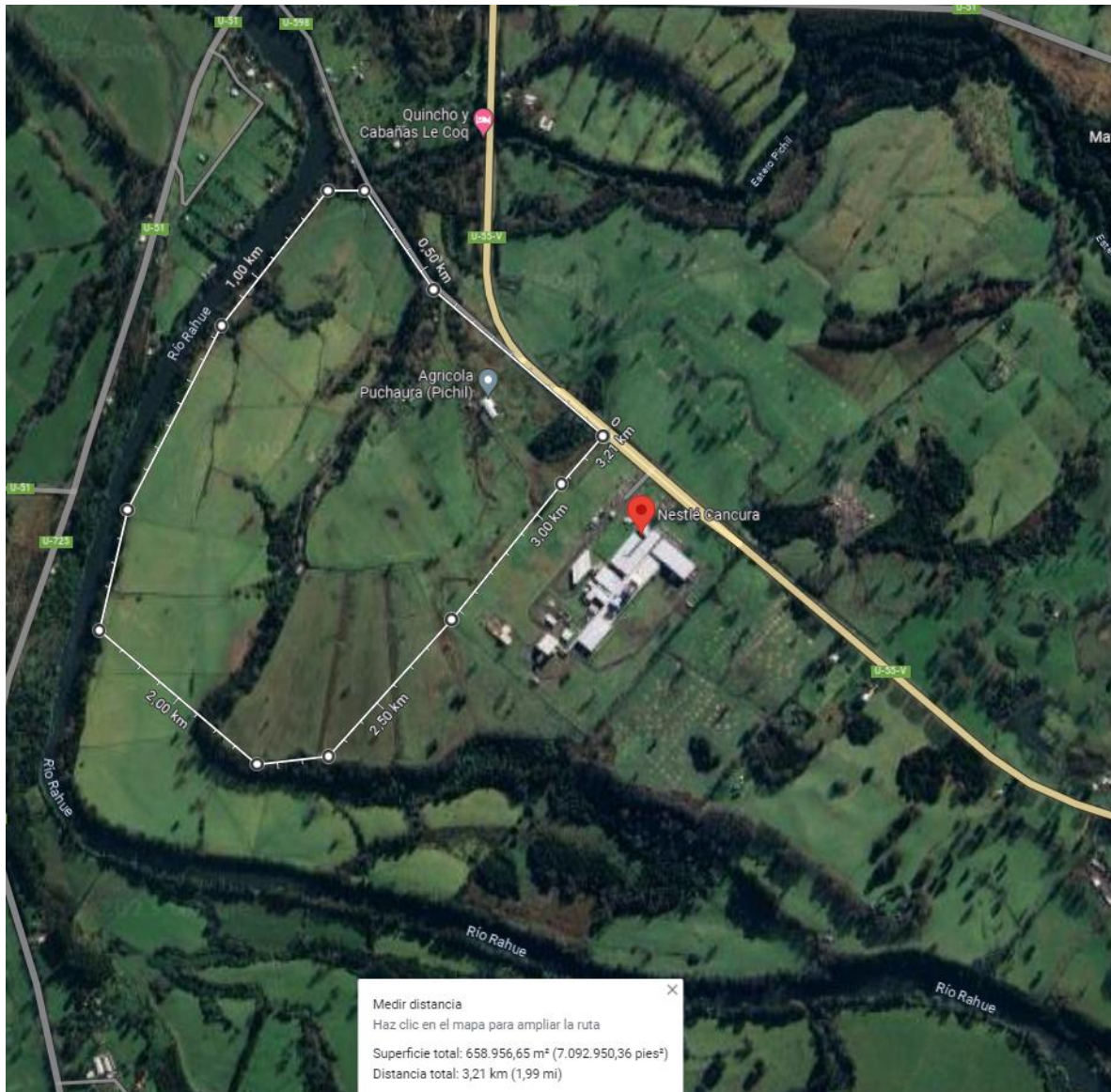


Figura 21: Superficie de 65 ha contigua a fábrica ejemplo Nestlé en Cancun, Región de Los Lagos (GOOGLE, 2023).

Finalmente, se obtiene una planta colectora de 3,6 MW en orientación norte, con una potencia de frío instalada de 1,7 MW.

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1. CAPEX

En esta etapa del proyecto, se necesita estimar el costo de inversión de la planta de colectores con el sistema de generación térmica y almacenamiento, donde para el sistema de amoníaco se utiliza el valor de 5,5 EUR/W de potencia térmica. Lo cual considera los colectores, generación y almacenamiento térmico. Como el frío necesario asciende a 1,2 GWh/mes, esto se convierte a potencia requerida llegando a un valor de

3,6 MW, considerando la eficiencia global del proceso. Con lo que, el valor de la inversión de colectores llega a 19,7 MM¹ EUR (GIZ, 2014).

Ahora, se debe considerar que para almacenar la corriente eléctrica generada por el sistema ORC, se utilizarán baterías las cuales tiene un costo de inversión asociado de 2,6 EUR/W para una potencia de 58 kW de baterías, alcanzando una inversión de 151.434 EUR.

Luego, debe considerarse el costo asociado al terreno, el cual puede variar entre los 8.000 EUR/ha hasta los 20.000 EUR/ha según el precio que estime el vendedor en relación al uso que se le dará al predio. Con lo que, para 60 ha, el costo mínimo del terreno será de 472.000 EUR y el valor máximo, 1.180.000 EUR.

Con lo expuesto anteriormente, la cifra de inversión asciende hasta los 21 MM EUR desglosado en la siguiente tabla:

Tabla 3: Desglose CAPEX

Ítem	Costo
Inversión total del campo solar	\$19.743.590
Terreno	\$ 1.180.000
Almacenamiento baterías	\$ 151.434
Total	\$21.075.023

4.2. OPEX

El costo nuevo de operación de la red eléctrica de la planta se obtendrá en base a la diferencia que existe entre el valor actual del costo de consumo eléctrico para refrigeración y corriente y el nuevo costo asociado a la disminución de la dependencia de red y la operación de los equipos. Lo cual, se expresa como:

$$\Delta OPEX = (Nuevo\ costo\ eléctrico + OPEX_{Colectores}) - Costo\ electricidad\ antiguo$$

Donde, el costo de operación anual de los colectores corresponde a 0,03 EUR/kWh-th. Con lo que, para una energía captada total de 32 GWh/año, costo de operación es de 961 M EUR/año. Luego, se tiene que el costo de la electricidad en Chile se puede aproximar al valor de 0,1 EUR/kWh, con un consumo aproximado de 22,8 GWh/año en la planta seleccionada, calculado a partir del 78% del consumo total de planta, se alcanza un costo operacional por electricidad de 2,28 MM EUR. Donde, la cantidad de energía generada por los colectores cubrirá 14,21 GWh/año. Lo que representa una reducción de costo en 1,42 MM EUR/año. Además, se añade que el sistema de ORC, permitirá una generación de 0,52 GWh/año, lo cual equivale a un total de 50 M EUR/año (GIZ, 2014).

¹ M: Miles y MM: Millones.

Así, el costo eléctrico se reduce hasta los 809 M EUR/año. Sin embargo, a este valor, se le suma el costo operacional de los colectores. Por lo cual, el nuevo costo operacional llegará a los 1,77 MM EUR/año, representando un ahorro anual de 500 M EUR, lo que consideraremos como ingreso para la empresa en el flujo de caja del proyecto.

Lo anterior se desglosa en la siguiente tabla:

Tabla 4: Desglose OPEX.

Ítem	Costo
Consumo total anual eléctrico (22,81 GWh/año)	\$ 2.281.479
Ahorro eléctrico (14,21 GWh/año)	\$ 1.420.517
Costo eléctrico nuevo	\$ 809.333
Costo operacional colectores	\$ 961.477
Costo operacional nuevo	\$ 1.770.810
OPEX diferencial	\$ -510.669 ²

4.3. FLUJO DE CAJA

4.3.1. BASES

Para realizar el flujo de caja del proyecto se deberán plantear las siguientes bases de evaluación. Primero, un aumento de la demanda de productos lácteos de un 5% anual, en consideración a proyecciones y el aumento de la población. Segundo, una disminución del 3% anual en los costos de operación de los equipos con motivo de la mejora de la eficiencia de las tecnologías. Tercero, se considerará una tasa de actualización del 6%. Cuarto, el flujo de caja será evaluado a 20 años. Sexto, la actualización y conversión de moneda se tomará a valor de 1 USD = 1 EUR y 1 EUR = 1000 CLP. Finalmente, establecer que la rentabilidad del proyecto se realizará en torno a la búsqueda del aumento de 4 productos típicos de la industria láctea para alcanzar un VAN=0, ósea, el precio mínimo que debe aumentar los productos para alcanzar, al menos, la rentabilidad.

Los productos mencionado corresponden a: Leche, Queso, Yogur y Leche en Polvo. Donde, para un procesamiento en torno a los 250 millones de litros de leche cruda al año, se considera una distribución aproximada de 33,2% de la producción total para Leche, Queso y Yogur, mientras que para la leche en polvo se considera un aporte del 0,5%. Estableciendo que estos valores no representan la distribución real de producción de una planta, sino más bien, una aproximación en base a la cantidad de leche utilizada para la producción unitaria de cada uno de estos productos. Donde, se aproxima que se utilizan 15 litros de leche cruda para 1 kg de queso, 8 litros de leche cruda, tanto para 1 kg de yogur como 1 kg leche en polvo y aproximadamente 1 litro de

² Signo negativo se considerará como ingreso.

leche cruda por kg de leche comercializable. Con esta información, el aumento de precio de la leche se repartirá en función de los porcentajes.

4.3.2. ESCENARIOS

Se deberán considerar diversos escenarios para la evaluación, entre los cuales se encuentra: Un proyecto financiado directamente desde la caja de la empresa, un proyecto financiado por una postulación a fondos CORFO y por último un escenario con crédito bancario a la tasa establecida. Donde, la forma de comprobar la rentabilidad es comparando al escenario base los costos e inversión del proyecto, producto del ahorro operacional, pero traspasando el costo de inversión al costo de venta del producto.

Además, se realizará una encuesta abierta al público de todos los rangos etarios y socioeconómicos para estudiar la disposición que presentan los consumidores a adquirir un lácteo que tenga la categoría de generación con emisiones reducidas con un mayor precio, obteniendo así el precio aproximado en cuanto se puede aumentar los productos antes mencionados.

4.3.3. DEPRECIACIÓN

Para la depreciación, se considerarán dos ítems: Los colectores, incluyendo la generación y almacenamiento, y las baterías de almacenamiento eléctrico. Ambos con una vida útil de 3 años para su depreciación acelerada. Por lo que la depreciación de los equipos quedará como:

Tabla 5: Equipos a depreciar.

Equipos	costo total (EUR)	vida útil
Colector CSP +generación frío y electricidad + cold storage	€19.743.590	3
Baterías	€151.434	3

Tabla 6: depreciación por periodo.

Equipo/Año	1	2	3
Colector CSP y generación frío y electricidad	€6.581.197	€6.581.197	€6.581.197
Baterías	€50.478	€50.478	€50.478
Suma	€6.631.674	€6.631.674	€6.631.674

4.3.4. FINANCIAMIENTO

Ahora, para el escenario del flujo de caja con financiamiento, se considera financiar típicamente un 70% del total, en un periodo de 5 años y con una tasa preestablecida del

6%. Con lo que, para una inversión de 21 MM EUR, la anualidad estará calculada por medio de:

$$R = P \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Donde,

- R: Anualidad
- P: Inversión
- i: tasa de interés
- n: Periodo de evaluación

Obteniendo un valor de 3.502.194 EUR. Representando la información anterior en la Tabla 7: Parámetros de financiamiento.

Tabla 7: Parámetros de financiamiento.

Financiamiento	70%
Periodo de Pago [años]	5
interés	6,0%
Anualidad	€3.502.194
inversión total	€21.075.023
70% inversión	€14.752.516

Así, se puede construir la tabla de amortización a cuota fija del proyecto como:

Tabla 8: Tabla de amortización cuota fija.

Años	Anualidad	interés	Amortización	Saldo
0				\$14.752.516
1	\$3.502.194	\$885.151	\$2.617.043	\$12.135.473
2	\$3.502.194	\$728.128	\$2.774.066	\$9.361.407
3	\$3.502.194	\$561.684	\$2.940.510	\$6.420.897
4	\$3.502.194	\$385.254	\$3.116.940	\$3.303.957
5	\$3.502.194	\$198.237	\$3.303.957	\$0

4.4. RESULTADOS

Ya definidas las bases de evaluación, se procede con el cálculo de rentabilidad de los proyectos. Donde, los flujos de caja completos serán adjuntos en los anexos.

Tabla 9: Resumen de aumento de precio según escenarios.

<i>Aumento Promedio unitario de productos a 20 años</i>	<i>Leche Cruda CLP/L</i>	<i>Queso CLP/kg</i>	<i>Yogur CLP/kg</i>	<i>Leche CLP/kg</i>	<i>Polvo CLP/kg</i>	<i>VAN</i>
<i>FC Pago Cash</i>	\$8	\$3	\$3	\$3	\$0	\$1
<i>FC CORFO</i>	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3.797.803
<i>FC Crédito</i>	\$8	\$3	\$3	\$3	\$0	\$1

Se opta por presentar el aumento de precio de los productos en pesos chilenos (CLP), para tener una mayor comprensión en la repercusión del precio.

Por lo que se puede apreciar en los resultados el aumento de precio en los productos no resulta ser un aumento significativo en el precio para el consumidor por lo cual en primera instancia se presenta como una alternativa viable. Cabe destacar que, en el escenario evaluado de obtener un financiamiento completo por parte de una institución como CORFO, no sería necesario realizar un aumento de precio del producto debido a que se alcanza la rentabilidad desde el primer periodo. Sin embargo, se desea investigar la disposición del cliente frente a los aumentos de precio de los productos, por lo cual se realiza la siguiente encuesta.

4.4.1. ENCUESTA PÚBLICA Y RESULTADO DE EVALUACIÓN

Finalmente, se decide realizar una encuesta vía redes sociales y de comunicación a personas adultas de entre 20 y 70 años, con poder adquisitivo desde estudiantes hasta jubilados y se obtuvieron los siguientes resultados de la disposición que tiene el cliente a pagar un sobreprecio por un producto que presenta características de producción renovable.

¿Cuánto más estaría dispuesto a pagar por 1 kg de queso que es producido con un 60% de energías renovables?

67 respuestas

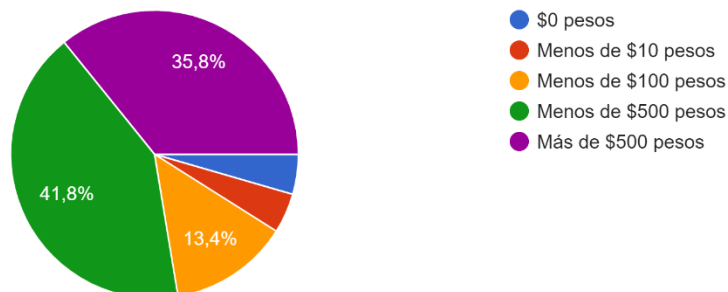


Figura 22: Resultados encuesta aumento de precio de 1 kg de queso.

¿Cuánto más estaría dispuesto a pagar por 1 litro de leche que es producido con un 60% de energías renovables?

67 respuestas

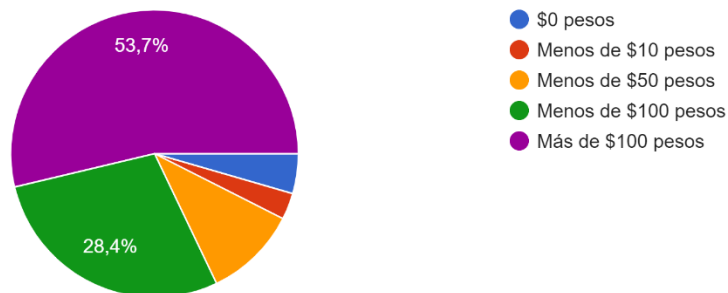


Figura 23: Resultados encuesta aumento de precio de 1 litro de leche.

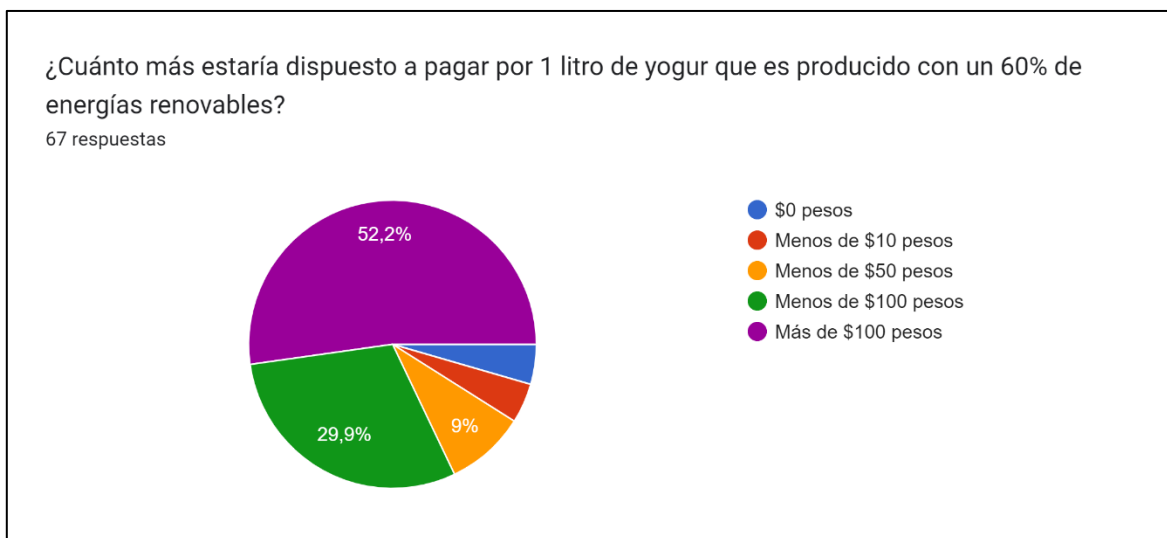


Figura 24: Resultados encuesta aumento de precio de 1 litro de yogur.

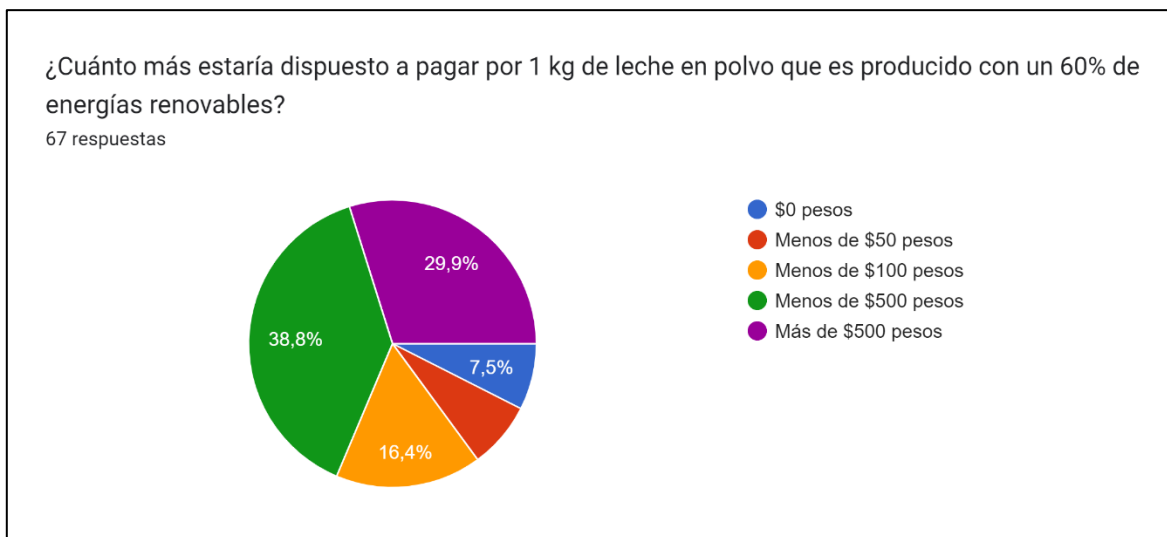


Figura 25: Resultados encuesta aumento de precio de 1 kg de leche en polvo.

En las 4 figuras anteriores se muestra que a lo menos dos tercios estaría dispuesto a pagar a los menos \$100 CLP extra por cada kg de leche en polvo y queso, mientras que más del 75% de la muestra no presentaría problemas al pagar \$50 CLP por sobre el precio normal por litro de leche o yogur.

Por esto, se decide reevaluar los flujos de caja de los 3 casos presentados en el punto 5.3 buscando aumentos de precios considerables en bases a los resultados. Con lo cual se obtienen los siguientes resultados de rentabilidad.

Tabla 10: Aumento promedio de precios de cada producto y VAN del escenario.

Aumento Promedio 20 años unitario de productos	Leche Cruda CLP/L	Queso CLP/kg	Yogur CLP/kg	Leche CLP/kg	Polvo CLP/kg	VAN
FC Pago Cash	\$316	\$105	\$105	\$105	\$1	\$646.432.326
FC CORFO	\$316	\$105	\$105	\$105	\$1	\$664.064.326
FC Crédito	\$316	\$105	\$105	\$105	\$1	\$646.976.264

Respecto a los toros indicadores económicos se alcanza una TIR y Payback de 270% y menos de 1 año, respectivamente, para el primer escenario. Luego, una TIR mayor al 1000% y un payback menor a 1 año, para el segundo caso. Finalmente, se obtiene una TIR de 850% y un payback menor a 1 año con el último escenario.

Con lo anterior queda establecido que la inversión se recupera en todos los escenarios evaluados, gracias a la disposición del mercado de optar por productos de sello renovable. Por lo que el proyecto es rentable.

5. CONCLUSIONES

A modo de síntesis, la evaluación de implementar el sistema de refrigeración por amoníaco y agua con colectores solares para la planta, en la ubicación del sur del país seleccionada, resulta posible según lo expuesto en este documento.

Junto a esto, se logró obtener las dimensiones y especificaciones necesarias de operación para los sistemas propuestos, comprobando la viabilidad técnica del proyecto. Con una generación de 10 MWh/mes de frío, por módulo, a una eficiencia del 65% en colectores tipo Fresnel que operan con aceite térmico a 320°C en un campo de colección solar de 60 ha, para un flujo de 100 kg/h de amoníaco y agua al 54% p/p de NH₃. Superficie en la cual se encontrarán 121 módulos compuestos por 15 colectores cada uno, con su respectivas etapas de generación, según sea refrigeración por amoníaco o sistema ORC. Debido a la estacionalidad presentada en la región, con lo cual no se altera la operación continua del proceso a través del año. Logrando una generación total de energía mayor a la estipulada inicialmente generando, en promedio, el 48% de la energía total de planta.

Además, se alcanza la factibilidad económica, para los escenarios analizados, producto del aumento de precio seleccionado para los productos de consumo típico. Donde, al aumentar el precio en \$105 CLP para cada uno de los productos analizados, se alcanzan

VAN ampliamente positivos en todos los escenarios, con TIR mayores al 200% en cada caso y Paybacks menores a 1 año.

6. RECOMENDACIONES

Finalmente, se considera relevante, para próximas investigaciones, la optimización del sistema propuesto en este documento. Con fin de obtener el valor óptimo de dimensiones y rentabilidad expuestos, lo cual se encuentra fuera del alcance a realizar en este proyecto. Además, se recomienda analizar el uso de otras soluciones de refrigeración como Br-Li o el cambio en el tipo de colector utilizado, modificando además los fluidos internos utilizados en el proceso. Esto en función de la posición geográfica donde se quiera evaluar un sistema de refrigeración por absorción.

Referencias

- Ayadi, O., Doell, J., Aprile, M., Motta, M., & Núñez, T. (2010). *SOLAR ENERGY COOLS MILK*.
- Coordinador Eléctrico Nacional. (2023). *CEN*. Obtenido de https://www.coordinador.cl/?jav_iWebAncho=1920#;
- DiPippo, R. (1999). *SMALL GEOTHERMAL POWER PLANTS: DESIGN, PERFORMANCE AND ECONOMICS*. North Dartmouth.
- GIZ. (2014). *La Tecnología CSP Fresnel: El ESTADO DE LA TECNOLOGÍA Y UNA VISIÓN GENERAL DEL MERCADO*. Santiago.
- GOOGLE. (2023). *Maps*. Obtenido de https://www.google.com/maps/place/Nestl%C3%A9+Cancura/@-40.7162564,-73.0122335,2260m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x9617b4139587aea9:0x959115fd474429c0!8m2!3d-40.7157126!4d-73.0093367!16s%2Fg%2F11c2nkjtb_?entry=ttu
- Google Maps. (2023). Obtenido de <https://www.google.cl/maps/@-41.3514971,-72.011496,8.63z?entry=ttu>
- IKERA. (s.f.). *Maximizando la Eficiencia del Calor Industrial: El Ciclo Rankine Orgánico*. Obtenido de <https://ikera.es/maximizando-la-eficiencia-del-calor-industrial-el-ciclo-rankine-organico/>
- Industrial Solar. (s.f.). *Ficha técnica del colector Fresnel LF-11*.
- Industrial Solar. (s.f.). *Ficha técnica del colector Fresnel LF-11*. Freiburg.
- Jorquera, C. (2022). *Piensa en Geotermia*. Obtenido de <https://www.piensageotermia.com/publicacion-mapas-de-evaluacion-de-recursos-geotermicos-para-la-implementacion-chile/>
- Lemus, Pérez, Honores, & Aguilera. (2015). *Favorabilidad Geotérmica en ambientes de media a alta entalpía de la Región de Los Lagos*. .
- López, G., Ibarra, M., & Platzer, W. (2017). *Estudio de Tecnologías para Refrigeración Solar*.
- Ministerio de Energía. (2023). *Explorador Solar*. Obtenido de <https://solar.minenergia.cl/exploracion>
- Motta, M. (2010). *MEDiterranean food and agro Industry applications of Solar COoling technologies*. Milán.

- Nestlé Chile, S.A. (16 de Septiembre de 2019). *Comunicados Nestlé*. Obtenido de <https://www.nestle.cl/media/pressreleases/allpressreleases/nestl%C3%A9-acelera-sus-medidas-para-hacer-frente-al-cambio-clim%C3%A1tico-y-se>
- Nestlé Chile, S.A. (2023). *Fábrica Nestlé Osorno: Nestlé*. Obtenido de <https://www.nestle.cl/aboutus/fabrica-osorno>
- Nestlé España, S.A. (2012). *Sumario n°5, 2012*. Barcelona.
- Palmay, P., Montúfar, P., & Andrade, M. (2020). *Modelamiento de un Ciclo Orgánico de Rankine Híbrido activado por paneles solares y el aprovechamiento de calor residual de una planta industrial*.
- Ramírez, D., Tapia, A., Lancheros, V., Espitia, L., & González, Y. (2015). *Simulación y análisis de un sistema de refrigeración por absorción solar intermitente*. Bogotá.
- Shell. (2005). *Technical Data Sheet*.
- Universidad Técnica Federico Santa María. (2010). *USOS FINALES Y CURVA DE OFERTA DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR INDUSTRIAL Y MINERO DE CHILE*.
- Weather Spark. (2023). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Puerto Montt*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/25113/Clima-promedio-en-Puerto-Montt-Chile-durante-todo-el-a%C3%B1o>

ANEXOS

FLUJO DE CAJA EN EFECTIVO

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Aumento de ingreso por Ventas		\$1.833.068	\$1.842.233	\$1.851.444	\$1.860.701	\$1.870.005	\$1.879.355	\$1.888.752	\$1.898.195
(-) Delta OPEX		\$510.669	\$495.349	\$480.488	\$466.074	\$452.092	\$438.529	\$425.373	\$412.612
(=) Utilidades Operacionales		\$2.343.737	\$2.337.582	\$2.331.933	\$2.326.775	\$2.322.096	\$2.317.884	\$2.314.125	\$2.310.807
(-) Depreciación		-\$6.631.674	-\$6.631.674	-\$6.631.674	\$0	\$0			
(-) intereses crédito									
(=) Utilidad Antes de Impuestos		-\$4.287.938	-\$4.294.093	-\$4.299.742	\$2.326.775	\$2.322.096	\$2.317.884	\$2.314.125	\$2.310.807
(-) Impuestos (27%)		\$0	\$0	\$0	-\$628.229	-\$626.966	-\$625.829	-\$624.814	-\$623.918
(=) Utilidad Después de Impuestos		-\$4.287.938	-\$4.294.093	-\$4.299.742	\$1.698.546	\$1.695.130	\$1.692.055	\$1.689.311	\$1.686.889
(+) Depreciación		\$6.631.674	\$6.631.674	\$6.631.674	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(-) Amortización credito									
(-) inversión	-\$21.075.023								
(-) capital de trabajo									
flujo de caja neto	-\$21.075.023	\$2.343.737	\$2.337.582	\$2.331.933	\$1.698.546	\$1.695.130	\$1.692.055	\$1.689.311	\$1.686.889
(+) credito largo plazo									
flujo de caja neto	-\$21.075.023	\$2.343.737	\$2.337.582	\$2.331.933	\$1.698.546	\$1.695.130	\$1.692.055	\$1.689.311	\$1.686.889
Flujo de caja acumulado	-\$21.075.023	-\$18.731.287	-\$16.393.705	-\$14.061.772	-\$12.363.227	-\$10.668.096	-\$8.976.041	-\$7.286.730	-\$5.599.841

2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$1.907.686	\$1.917.225	\$1.926.811	\$1.936.445	\$1.946.127	\$1.955.858	\$1.965.637	\$1.975.465	\$1.985.343	\$1.995.269	\$2.005.246	\$2.015.272
\$400.233	\$388.226	\$376.580	\$365.282	\$354.324	\$343.694	\$333.383	\$323.382	\$313.680	\$304.270	\$295.142	\$286.288
\$2.307.920	\$2.305.451	\$2.303.391	\$2.301.727	\$2.300.451	\$2.299.552	\$2.299.020	\$2.298.847	\$2.299.023	\$2.299.539	\$2.300.387	\$2.301.559
\$2.307.920	\$2.305.451	\$2.303.391	\$2.301.727	\$2.300.451	\$2.299.552	\$2.299.020	\$2.298.847	\$2.299.023	\$2.299.539	\$2.300.387	\$2.301.559
-\$623.138	-\$622.472	-\$621.915	-\$621.466	-\$621.122	-\$620.879	-\$620.735	-\$620.689	-\$620.736	-\$620.876	-\$621.105	-\$621.421
\$1.684.781	\$1.682.979	\$1.681.475	\$1.680.261	\$1.679.329	\$1.678.673	\$1.678.285	\$1.678.158	\$1.678.287	\$1.678.664	\$1.679.283	\$1.680.138
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$1.684.781	\$1.682.979	\$1.681.475	\$1.680.261	\$1.679.329	\$1.678.673	\$1.678.285	\$1.678.158	\$1.678.287	\$1.678.664	\$1.679.283	\$1.680.138
\$1.684.781	\$1.682.979	\$1.681.475	\$1.680.261	\$1.679.329	\$1.678.673	\$1.678.285	\$1.678.158	\$1.678.287	\$1.678.664	\$1.679.283	\$1.680.138
-\$3.915.059	-\$2.232.080	-\$550.605	\$1.129.656	\$2.808.985	\$4.487.658	\$6.165.943	\$7.844.101	\$9.522.388	\$11.201.052	\$12.880.334	\$14.560.473

FLUJO DE CAJA CON FINANCIAMIENTO CORFO

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Aumento de ingreso por Ventas		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(-) Delta OPEX		\$ 510.669	\$ 495.349	\$ 480.488	\$ 466.074	\$ 452.092	\$ 438.529	\$ 425.373	\$ 412.612
(=) Utilidades Operacionales		\$ 510.669	\$ 495.349	\$ 480.488	\$ 466.074	\$ 452.092	\$ 438.529	\$ 425.373	\$ 412.612
(-) Depreciación		\$ -6.631.674	\$ -6.631.674	\$ -6.631.674	\$ -	\$ -			
(-) intereses crédito									
(=) Utilidad Antes de Impuestos		\$ -6.121.005	\$ -6.136.326	\$ -6.151.186	\$ 466.074	\$ 452.092	\$ 438.529	\$ 425.373	\$ 412.612
(-) Impuestos (27%)		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -125.840	\$ -122.065	\$ -118.403	\$ -114.851	\$ -111.405
(=) Utilidad Después de Impuestos		\$ -6.121.005	\$ -6.136.326	\$ -6.151.186	\$ 340.234	\$ 330.027	\$ 320.126	\$ 310.522	\$ 301.207
(+) Depreciación		\$ 6.631.674	\$ 6.631.674	\$ 6.631.674	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(-) amortización crédito									
(-) inversión	\$-21.075.023								
(-) capital de trabajo									
flujo de caja neto	\$-21.075.023	\$ 510.669	\$ 495.349	\$ 480.488	\$ 340.234	\$ 330.027	\$ 320.126	\$ 310.522	\$ 301.207
(+) Aporte CORFO	\$ 21.075.023								
flujo de caja neto	\$ -	\$ 510.669	\$ 495.349	\$ 480.488	\$ 340.234	\$ 330.027	\$ 320.126	\$ 310.522	\$ 301.207
Flujo de caja acumulado	\$ -	\$ 510.669	\$ 1.006.018	\$ 1.486.506	\$ 1.826.740	\$ 2.156.767	\$ 2.476.893	\$ 2.787.415	\$ 3.088.622

2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 400.233	\$ 388.226	\$ 376.580	\$ 365.282	\$ 354.324	\$ 343.694	\$ 333.383	\$ 323.382	\$ 313.680	\$ 304.270	\$ 295.142	\$ 286.288
\$ 400.233	\$ 388.226	\$ 376.580	\$ 365.282	\$ 354.324	\$ 343.694	\$ 333.383	\$ 323.382	\$ 313.680	\$ 304.270	\$ 295.142	\$ 286.288
\$ 400.233	\$ 388.226	\$ 376.580	\$ 365.282	\$ 354.324	\$ 343.694	\$ 333.383	\$ 323.382	\$ 313.680	\$ 304.270	\$ 295.142	\$ 286.288
\$ -108.063	\$ -104.821	\$ -101.677	\$ -98.626	\$ -95.667	\$ -92.797	\$ -90.013	\$ -87.313	\$ -84.694	\$ -82.153	\$ -79.688	\$ -77.298
\$ 292.170	\$ 283.405	\$ 274.903	\$ 266.656	\$ 258.656	\$ 250.897	\$ 243.370	\$ 236.069	\$ 228.987	\$ 222.117	\$ 215.454	\$ 208.990
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ 292.170	\$ 283.405	\$ 274.903	\$ 266.656	\$ 258.656	\$ 250.897	\$ 243.370	\$ 236.069	\$ 228.987	\$ 222.117	\$ 215.454	\$ 208.990
\$ 292.170	\$ 283.405	\$ 274.903	\$ 266.656	\$ 258.656	\$ 250.897	\$ 243.370	\$ 236.069	\$ 228.987	\$ 222.117	\$ 215.454	\$ 208.990
\$ 3.380.792	\$ 3.664.198	\$ 3.939.101	\$ 4.205.757	\$ 4.464.413	\$ 4.715.310	\$ 4.958.680	\$ 5.194.748	\$ 5.423.735	\$ 5.645.852	\$ 5.861.305	\$ 6.070.295

FLUJO DE CAJA CON CRÉDITO

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Aumento de ingreso por Ventas		\$1.820.082	\$1.829.183	\$1.838.329	\$1.847.520	\$1.856.758	\$1.866.042	\$1.875.372	\$1.884.749
(-) Delta OPEX		\$510.669	\$495.349	\$480.488	\$466.074	\$452.092	\$438.529	\$425.373	\$412.612
(=) Utilidades Operacionales		\$2.330.751	\$2.324.532	\$2.318.817	\$2.313.594	\$2.308.850	\$2.304.571	\$2.300.745	\$2.297.361
(-) Depreciación		-\$6.631.674	-\$6.631.674	-\$6.631.674	\$0	\$0			
(-) intereses crédito		-\$885.151	-\$728.128	-\$561.684	-\$385.254	-\$198.237			
(=) Utilidad Antes de Impuestos		-\$5.186.074	-\$5.035.271	-\$4.874.542	\$1.928.340	\$2.110.612	\$2.304.571	\$2.300.745	\$2.297.361
(-) Impuestos (27%)		\$0	\$0	\$0	-\$520.652	-\$569.865	-\$622.234	-\$621.201	-\$620.287
(=) Utilidad Después de Impuestos		-\$5.186.074	-\$5.035.271	-\$4.874.542	\$1.407.688	\$1.540.747	\$1.682.337	\$1.679.544	\$1.677.073
(+) Depreciación		\$6.631.674	\$6.631.674	\$6.631.674	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
(-) amortización crédito		-\$2.617.043	-\$2.774.066	-\$2.940.510	-\$3.116.940	-\$3.303.957			
(-) inversión	-\$21.075.023								
(-) capital de trabajo									
flujo de caja neto	-\$21.075.023	-\$1.171.443	-\$1.177.662	-\$1.183.377	-\$1.709.252	-\$1.763.210	\$1.682.337	\$1.679.544	\$1.677.073
(+) crédito largo plazo	\$14.752.516								
flujo de caja neto	-\$6.322.507	-\$1.171.443	-\$1.177.662	-\$1.183.377	-\$1.709.252	-\$1.763.210	\$1.682.337	\$1.679.544	\$1.677.073
Flujo de caja acumulado	-\$6.322.507	-\$7.493.950	-\$8.671.612	-\$9.854.989	-\$11.564.241	-\$13.327.451	-\$11.645.115	-\$9.965.571	-\$8.288.498

2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$1.894.173	\$1.903.644	\$1.913.162	\$1.922.728	\$1.932.341	\$1.942.003	\$1.951.713	\$1.961.471	\$1.971.279	\$1.981.135	\$1.991.041	\$2.000.996
\$400.233	\$388.226	\$376.580	\$365.282	\$354.324	\$343.694	\$333.383	\$323.382	\$313.680	\$304.270	\$295.142	\$286.288
\$2.294.406	\$2.291.870	\$2.289.741	\$2.288.010	\$2.286.665	\$2.285.697	\$2.285.096	\$2.284.853	\$2.284.959	\$2.285.405	\$2.286.183	\$2.287.284
\$2.294.406	\$2.291.870	\$2.289.741	\$2.288.010	\$2.286.665	\$2.285.697	\$2.285.096	\$2.284.853	\$2.284.959	\$2.285.405	\$2.286.183	\$2.287.284
-\$619.490	-\$618.805	-\$618.230	-\$617.763	-\$617.400	-\$617.138	-\$616.976	-\$616.910	-\$616.939	-\$617.059	-\$617.269	-\$617.567
\$1.674.916	\$1.673.065	\$1.671.511	\$1.670.247	\$1.669.265	\$1.668.559	\$1.668.120	\$1.667.943	\$1.668.020	\$1.668.346	\$1.668.913	\$1.669.717
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$1.674.916	\$1.673.065	\$1.671.511	\$1.670.247	\$1.669.265	\$1.668.559	\$1.668.120	\$1.667.943	\$1.668.020	\$1.668.346	\$1.668.913	\$1.669.717
\$1.674.916	\$1.673.065	\$1.671.511	\$1.670.247	\$1.669.265	\$1.668.559	\$1.668.120	\$1.667.943	\$1.668.020	\$1.668.346	\$1.668.913	\$1.669.717
-\$6.613.581	-\$4.940.516	-\$3.269.005	-\$1.598.758	\$70.508	\$1.739.067	\$3.407.187	\$5.075.130	\$6.743.150	\$8.411.495	\$10.080.409	\$11.750.126