



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIOS PREINVERSIONALES PARA LA INCORPORACIÓN DE ERNC EN EL SECTOR CERVECERÍA ARTESANAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECANICA
PASKAL ANDREA GUZMÁN COLL

PROFESOR GUÍA:
LEONEL NÚÑEZ LAZO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ALVARO VALENCIA MUSALEM
AQUILES SEPÚLVEDA OSSES

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERIA CIVIL MECANICA
POR: PASKAL ANDREA GUZMÁN COLL
FECHA: 10/12/2019
PROFESOR GUIA: LEONEL NÚÑEZ LAZO

ESTUDIOS PREINVERSIONALES PARA LA INCORPORACIÓN DE ERNC EN EL SECTOR CERVECERÍA ARTESANAL

El proyecto aborda la incorporación de ERNC al sector Cervecería Artesanal (CA). Actualmente se ha generado un gran interés en la implementación de ERNC para la disminución de emisiones contaminantes. La industria de CA se considera estable y en crecimiento, buena condiciones para implementar ERNC en sus operaciones.

El objetivo general del proyecto es efectuar estudios prospectivos para introducir las ERNC en la matriz energética de CA. Los objetivos específicos del proyecto son: reconocer la industria, su matriz energética y los usos energéticos habituales; seleccionar y justificar un portafolio de ERNC aplicables a la industria; y desarrollar tres aplicaciones para casos selectos.

La metodología empleada incluyó visitas técnicas a algunas plantas CA para reconocer la industria y evaluar un portafolio de ERNC aplicable. Luego se efectuaron análisis de Eficiencia Energética (EE) y estudios de prefactibilidad técnica-económica de opciones de ERNC & EE.

Las visitas permitieron formarse una idea de la complejidad de las CA, reconocer su matriz energética típica y los usos habituales de energía. Para esta industria el portafolio de ERNC puede integrarse con energía solar, energía eólica y biocombustibles. Además, se plantean dos Medidas de EE de aplicación general: aislación de equipos y recuperación de energía térmica del proceso de Cocción. De los estudios de ERNC & EE se desprende que la energía solar y la eólica son convenientes si cuenta con las condiciones ambientales óptimas, en tanto que el análisis de las opciones de EE muestra que siempre es conveniente implementar estas mejoras en la industria.

Finalmente se concluye que implementando las ERNC propuestas la matriz energética de las CA podría modificarse por sobre un 30%, disminuyendo el uso de energías convencionales. Por otro lado, el análisis muestra que las mejoras de EE son aplicables a todo el sector CA y pueden disminuir sobre un 5% el consumo energético.

Según los estudios desarrollados, el cambio de matriz energética y las mejoras propuestas son válidas para los diferentes niveles de producción de la CA; ya que las tecnologías se adecuan a las necesidades de cada industria.

Dedicado a Sergio, Frieda, Charlot y Diego.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres y mis hermanos que son el pilar fundamental de mi vida.

En segundo lugar, agradecer a todos mis amigos que han sido parte de toda mi etapa universitaria, por apoyarme siempre y darme una familia santiaguina que siempre está para cuando los necesito.

Finalmente quiero agradecer a todos los profesores que me ayudaron en el proceso de aprendizaje, por la paciencia y buena disposición.

Tabla de contenido

Agradecimientos	v
Índice de Figuras	x
Índice de Tablas.....	xiii
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Alcances	3
2. Antecedentes	4
2.1. Cervecería artesanal en Chile (CACH)	4
2.2. Procesos de elaboración de la Cerveza.....	4
2.2.1. Molturación	5
2.2.2. Maceración y Cocción.....	5
2.2.3. Enfriamiento y Fermentación.....	7
2.2.4. Maduración	8
2.2.5. Almacenamiento	8
2.2.6. Resumen de los usos energéticos.....	9
2.3. Caracterización del fluido.....	9
2.4. Portafolio de ERNC aplicables a la CACH	10
2.4.1. Energía Solar.....	10
2.4.2. Energía Eólica	12
2.4.3. Energía a partir de Biomasa	13
2.5. Análisis de Mercado	13
3. Metodología.....	16
4. Visitas industriales.....	17
4.1. Solicitud	17
4.2. Formulario	17

4.3.	Aplicación	18
5.	Resultados de las Visitas Industriales.....	19
5.1.	Recopilación de Datos	19
5.2.	Indicadores Obtenidos	25
5.3.	Análisis de las Plantas	25
5.4.	Reconocimiento de la Industria según las visitas	26
5.5.	Diagramas de Flujo.....	27
5.6.	Layout	29
5.7.	Caracterización de la Matriz Energética.....	31
5.8.	Análisis Sectorial	32
6.	Análisis de Oportunidades	34
6.1.	Opciones de ERNC.....	34
6.1.1.	Energía Solar.....	34
6.1.2.	Energía Eólica	35
6.1.3.	Energía a Partir de Biomasa	37
6.2.	Eficiencia Energética	39
6.2.1.	Aislamiento de Equipos	39
6.2.2.	Recuperación de Energía Térmica en el Enfriamiento.....	40
6.3.	Selección de Alternativas.....	41
7.	Análisis de Eficiencia Energética	42
7.1.	Energía Solar	42
7.1.1.	Energía Solar Fotovoltaica	45
7.1.2.	Energía Solar Térmica	48
7.2.	Energía Eólica	51
7.3.	Aislamiento de Equipos.....	57
7.4.	Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento	61
8.	Estudio de Prefactibilidad.....	65
8.1.	Prefactibilidad Técnica	65
8.1.1.	Energía Solar Fotovoltaica.....	65
8.1.2.	Energía Solar Térmica	66
8.1.3.	Energía Eólica	66
8.1.4.	Aislamiento de Equipos	67

8.1.5.	Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.....	67
8.2.	Prefactibilidad Económica	67
8.2.1.	Costos.....	68
8.2.2.	Flujo de Caja.....	70
8.2.3.	Indicadores Económicos.....	70
9.	Resultados.....	75
9.1.	Energía Solar Fotovoltaica	75
9.2.	Energía Solar Térmica	78
9.3.	Energía Eólica	81
9.4.	Aislamiento de Equipos.....	84
9.5.	Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento	86
10.	Análisis	90
10.1.	Energía Solar Fotovoltaica.....	90
10.2.	Energía Solar Térmica.....	90
10.3.	Energía Eólica.....	91
10.4.	Aislamiento de Equipos	92
10.5.	Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento	92
10.6.	Análisis sectorial	93
11.	Conclusiones.....	95
	Bibliografía	97
	Anexo 1	100
	Anexo 2	105
	Anexo 3	113
	Anexo 4	116
	Anexo 5	117

Índice de Figuras

Figura 1: Participación ERNC en la Generación de Energía 2018 en Chile [1].	1
Figura 2: Etapas de Preparación de la Cerveza [3].	5
Figura 3: Maceración por Mesetas de Temperatura según Tiempo Correspondiente [4].	6
Figura 4: Instalación de Energía Solar Térmica.	10
Figura 5: Mapa Solar Chile [8].	11
Figura 6: Mapa Eólico Chile [10].	12
Figura 7: Consumo de Cerveza en Chile.	15
Figura 8: Diagrama de Metodología Empleada.	16
Figura 9: Fotografías de las diferentes cervecerías visitadas.	18
Figura 10: Diagrama de Flujo Básico.	28
Figura 11: Diagrama de Flujo con Recuperación.	29
Figura 12: Layout típico de las plantas.	30
Figura 13: Promedio de los Usos Energéticos de las Plantas Visitadas.	32
Figura 14: Consumo Energético de las Cervecerías.	33
Figura 15: Indicadores Energéticos de las Cervecerías.	33
Figura 16: Curvas de Eficiencia de Colectores [13].	35
Figura 17: Curva de Potencia Típica de Turbinas Eólicas [15].	36
Figura 18: Ubicación de las Ciudades Estudiadas [21].	43
Figura 19: Promedio Mensual de la Insolación Diaria de Valdivia en unidades de [kWh/m ² /día] [22].	43
Figura 20: Promedio Mensual de la Insolación Diaria Incidente en un Plano Horizontal y en un Plano Inclinado, separada en sus Componentes Directa, Difusa y Reflejada del Suelo, en la Ciudad de Valdivia [22].	44
Figura 21: Promedio Mensual de la Insolación Diaria de Vicuña en unidades de [kWh/m ² /día] [22].	44
Figura 22: Promedio Mensual de la Insolación Diaria Incidente en un Plano Horizontal y en un Plano Inclinado, separada en sus Componentes Directa, Difusa y Reflejada del Suelo, en la Ciudad de Vicuña [22].	44
Figura 23: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 10 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	46
Figura 24: Generación Eléctrica Anual.	47
Figura 25: Generación de Energía Térmica en la Ciudad de Valdivia con diferentes Superficies de Colectores Térmicos Instalados.	50
Figura 26: Generación de Energía Térmica en la Ciudad de Vicuña con diferentes Superficies de Colectores Térmicos Instalados.	50
Figura 27: Velocidad Promedio de Viento en Valdivia a 46 metros, según la Hora del Día y Mes del Año [22].	52

Figura 28: Generación Eléctrica Promedio Mensual por Diferentes Aerogeneradores en Valdivia [10].	55
Figura 29: Generación Eléctrica Promedio Mensual por Diferentes Aerogeneradores en Vicuña [10].	56
Figura 30: Costos de los Estanques de Almacenamiento [6].	69
Figura 31: Generación de Energía Solar Fotovoltaica.	75
Figura 32: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos Fotovoltaicos.	76
Figura 33: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos Fotovoltaicos.	76
Figura 34: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos Fotovoltaicos.	77
Figura 35: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos Fotovoltaicos.	77
Figura 36: Generación de Energía Solar Térmica.	78
Figura 37: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos Solares Térmicos.	79
Figura 38: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos Solares Térmicos.	79
Figura 39: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos Solares Térmicos.	80
Figura 40: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos Solares Térmicos.	80
Figura 41: Generación de Energía Eólica.	81
Figura 42: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos Eólicos.	82
Figura 43: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos Eólicos.	82
Figura 44: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos Eólicos.	83
Figura 45: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos Eólicos.	83
Figura 46: Energía Térmica Recuperada de Proyectos de Aislamiento.	84
Figura 47: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos de Aislamiento.	84
Figura 48: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos de Aislamiento.	85
Figura 49: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos de Aislamiento.	85
Figura 50: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos de Aislamiento.	86
Figura 51: Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.	87
Figura 52: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.	87
Figura 53: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.	88
Figura 54: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.	88
Figura 55: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.	89
Figura 56: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 10 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	100
Figura 57: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 20 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	100
Figura 58: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 30 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	101
Figura 59: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 50 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	101

Figura 60: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 80 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	102
Figura 61: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 10 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	102
Figura 62: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 20 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	103
Figura 63: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 30 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	103
Figura 64: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 50 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].	104
Figura 65: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 80 m ² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario. [22].	104
Figura 66: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 15 metros, según la hora del día y mes del año [10].	105
Figura 67: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 25 metros, según la hora del día y mes del año [10].	106
Figura 68: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 36 metros, según la hora del día y mes del año [10].	107
Figura 69: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 46 metros, según la hora del día y mes del año [10].	108
Figura 70: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 17 metros, según la hora del día y mes del año [10].	109
Figura 71: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 27 metros, según la hora del día y mes del año [10].	110
Figura 72: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 37 metros, según la hora del día y mes del año [10].	111
Figura 73: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 48 metros, según la hora del día y mes del año [10].	112

Índice de Tablas

Tabla 1: Principales Enzimas del Proceso de Elaboración de Cerveza [5].	7
Tabla 2: Principales Usos Energéticos en CA.	9
Tabla 3: Síntesis 2018.	15
Tabla 4: Antecedentes Generales y Productivos.	19
Tabla 5: Antecedentes Energéticos Cervecería Tubingüer.	20
Tabla 6: Antecedentes Energéticos Cervecería Coda.	21
Tabla 7: Antecedentes Energéticos Cervecería Luthier.	22
Tabla 8: Antecedentes Energéticos Cervecería Cuello Negro.	23
Tabla 9: Antecedentes Energéticos Cervecería Selva Fría.	24
Tabla 10: Indicadores.	25
Tabla 11: Porcentaje de energía térmica y energía eléctrica por planta,	31
Tabla 12: Propiedades de Pellets y Briquetas [16].	38
Tabla 13: Propiedades de los gases combustibles [17].	39
Tabla 14: Aislantes térmicos [18] [19].	40
Tabla 15: Sitios Escogidos para el Estudio.	42
Tabla 16: Características del Sistema Fotovoltaico.	45
Tabla 17: Resultados de Generación Fotovoltaica.	46
Tabla 18: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Valdivia.	47
Tabla 19: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Vicuña.	48
Tabla 20: Características del Sistema Solar Térmico.	49
Tabla 21: Resultados de Generación Térmica.	49
Tabla 22: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Valdivia.	51
Tabla 23: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Vicuña.	51
Tabla 24: Aerogeneradores [10].	53
Tabla 25: Potencia Generada.	54
Tabla 26: Porcentaje de Contribución Eléctrica para cada Cervecería en el caso de estar en la Ciudad de Valdivia.	56
Tabla 27: Porcentaje de Contribución Eléctrica para cada Cervecería en el caso de estar en la Ciudad de Vicuña.	57
Tabla 28: Condiciones de operación y datos del equipo.	59
Tabla 29: Propiedades del Material Aislante.	59
Tabla 30: Propiedades Termofísicas del Aire a Presión Atmosférica.	60
Tabla 31: Perdidas Térmicas en una Olla de 1500L.	60
Tabla 32: Perdidas Térmicas en una Olla de 500L.	60
Tabla 33: Ahorro Térmico al Aislar los Equipos.	61

Tabla 34: Datos para Cálculo de Transferencia de Calor.....	62
Tabla 35: Datos Obtenidos.	63
Tabla 36: Recuperación de energía.	63
Tabla 37: Recuperación de energía térmica anual por cervecería.....	64
Tabla 38: Estimación de Costos Totales de Inversión [25].....	68
Tabla 39: Estimación de Costos Totales de Inversión [25].....	69
Tabla 40: Vida Útil de los Activos.....	70
Tabla 41: Indicadores Económicos de Generación Fotovoltaica.....	72
Tabla 42: Indicadores Económicos de Generación Solar Térmica Reemplazando GLP.....	72
Tabla 43: Indicadores Económicos de Generación Solar Térmica Reemplazando GN.	73
Tabla 44: Indicadores Económicos de Generación Eólica.	73
Tabla 45: Indicadores Económicos de Aislación.....	74
Tabla 46: Indicadores Económicos de Recuperación Térmica.....	74

1. Introducción

1.1. Antecedentes Generales

La cerveza es una bebida alcohólica fabricada a partir de la combinación de agua, cebada malteada, lúpulo y levadura. Es un producto de la industria alimentaria, que se produce a nivel mundial.

Los procesos de elaboración de cerveza se caracterizan principalmente por requerir grandes volúmenes de fluido a altas/bajas temperaturas, operaciones de mezcla y transporte de fluidos. La malta en combinación con el agua a una temperatura adecuada produce azúcares que, luego de mezclarse con el lúpulo en la cocción, son almacenados en condiciones determinadas con la levadura. Ésta fermenta los azúcares y los convierte en dióxido de carbono y alcohol etílico.

Actualmente se vive una crisis mundial por la utilización de combustibles fósiles. La combustión de éstos es la principal fuente de generación de gases efecto invernadero (GEI). La producción en exceso de estos gases influencia el cambio climático.

Se plantea la utilización de ERNC en los procesos térmicos que requiere la preparación de la cerveza y en la alimentación de los equipos eléctricos requeridos para las operaciones productivas. El proyecto busca implementar alternativas de ERNC utilizando diferentes tipos de energía tales como la energía eólica, energía a partir de biomasa y energía solar térmica y fotovoltaica (Figura 1).



Figura 1: Participación ERNC en la Generación de Energía 2018 en Chile [1].

1.2. Motivación

En Chile el consumo anual de cerveza ha superado los mil millones de litros, de los cuales las cervezas artesanales (CA) participan con un 1%. Por esto el mercado cervecero se considera estable y en crecimiento. La industria CA ha proliferado y madurado, pero en general no ha adoptado tecnologías eficientes de suministro energético; por lo cual es atractivo para introducir una nueva propuesta tecnológica que cause impacto.

Se ha generado un gran interés la implementación de energías renovables no convencionales para la disminución de emisiones contaminantes. Además, las ERNC permiten una independencia energética y la conservación de recursos no renovables.

A nivel nacional, Chile tiene un gran potencial con respecto a las ERNC, así es como el Estado busca fomentar y priorizar el uso de ERNC.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Efectuar estudios prospectivos para introducir las ERNC en la matriz energética de CA.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Reconocer la industria, su matriz energética y los usos habituales.
- Seleccionar y justificar un portafolio de ERNC aplicables a industria.
- Desarrollar tres aplicaciones de introducción de ERNC para casos selectos.

1.4. Alcances

Los alcances son estudios preinversionales de ingeniería conceptual para la incorporación de ERNC en el sector cervecería artesanal, debido a esto se considera:

- Obtener un panorama general del tamaño de la industria CA en Chile, y la descripción y caracterización de su matriz energética.
- Desarrollar una batería de opciones de incorporación de ERNC en los procesos productivos.
- Estudiar los balances de energía.
- Realizar los estudios de prefactibilidad.
- Obtener la evaluación técnica y económica de perfil.
- Realizar ingenierías de perfil: Layout, procesos y evaluaciones económicas.

2. Antecedentes

2.1. Cervecería artesanal en Chile (CACH)

La cervecería artesanal en Chile se ha hecho popular en los últimos años y actualmente se estima que existen alrededor de 300 productores nacionales. Dentro de la producción de cerveza a nivel nacional el 1% es de cerveza artesanal. En los últimos años, el mercado cervecero ha estado en crecimiento, ha aumentado alrededor de un 3% en general y entre 15 a 20% el mercado de la cervecería artesanal [2].

La industria de cervecería artesanal se caracteriza por preparar sus productos con ingredientes 100% naturales, no se utilizan aditivos ni conservantes y cada maestro cervecero tiene una receta particular. El proceso de preparación de la cerveza artesanal es no automatizado, requiere de mano de obra y su producción anual máxima debe ser aproximadamente de 500.000 hectolitros para ser considerada CA.

2.2. Procesos de elaboración de la Cerveza

La cerveza es una bebida alcohólica que requiere agua, cebada malteada, lúpulo y levadura para su preparación.

La preparación de la cerveza consta de diferentes etapas de producción, las cuales se pueden observar en la Figura 2. El proceso de preparación consiste en la molturación del grano, maceración, cocción, enfriamiento, fermentación, maduración y almacenamiento final. Cada etapa de preparación tiene un requerimiento energético térmico y/o eléctrico diferente. Se pueden identificar todos los usos energéticos de la industria y caracterizar la matriz energética correspondiente a cada cervecería [3].



Figura 2: Etapas de Preparación de la Cerveza [3].

2.2.1. Molturación

La molturación tiene el fin de dividir el grano en pequeñas partículas para que puedan ser rápidamente atacadas por las enzimas en la cuba de maceración. Para realizar este proceso, es necesario que la cebada malteada tenga un contenido de humedad de 2,5 a 4%. Para realizar este proceso existen diferentes tipos de molinos de rodillos, los que se diferencian por su cantidad de rodillos. Para los rodillos primarios, donde se introduce el grano entero, su separación normalmente es de 1,5 mm a 1 mm, y para, los rodillos finales de 0,5 mm a 0,25 mm.

Un buen proceso de molienda obtiene como resultado una cantidad inferior al 10% de harina, con respecto al volumen total. Además, no deben quedar granos sin moler y las cascarillas deben partirse de extremo a extremo con el fin de que el endospermo (reservas de almidón) se desprenda de la cascarilla y puedan reaccionar mejor en el proceso enzimático [3].

2.2.2. Maceración y Cocción

En la maceración se introducen los granos molidos en la cuba y se les añade agua, idealmente con un pH cercano a 5,5. La relación es de 3 litros de agua por 1 kilo de grano. Una vez mezclados, se pasa al proceso de calentamiento para la activación de las enzimas.

Las enzimas son responsables de la hidrólisis de los azúcares contenidos en el grano. Éstas son biocatalizadores y su función se ve favorecida a determinadas temperaturas, Figura 3. Los procesos de preparación de la cerveza pueden ser con escalonamiento de temperaturas para que cada enzima reaccione a su temperatura ideal.

En la cervecería artesanal se utiliza una temperatura de maceración de 65°C, ya que los rangos de temperatura de las enzimas de mayor interés se encuentran comprendidos en 55 y 68°C. Una buena maceración es aquella que asegura la máxima conversión de glúcidos fermentables [4].

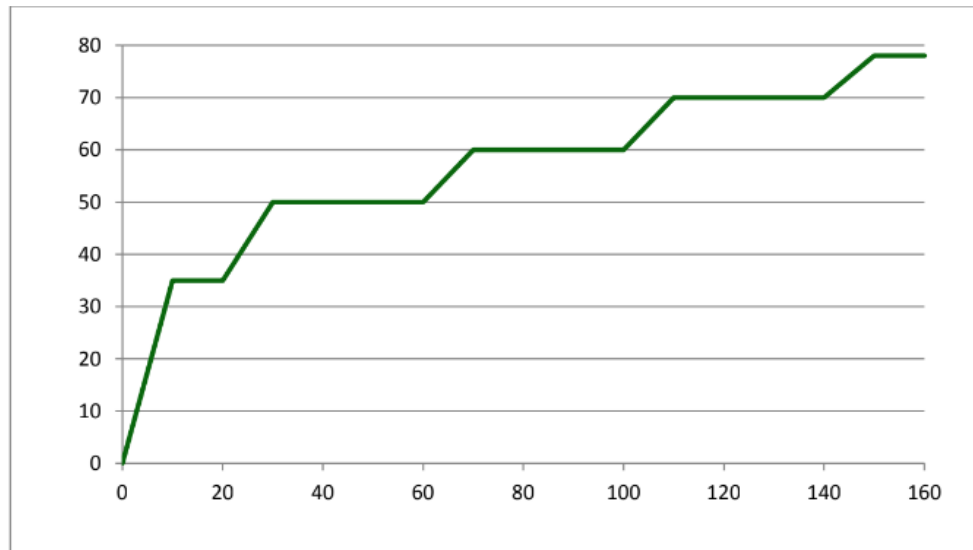


Figura 3: Maceración por Mesetas de Temperatura según Tiempo Correspondiente [4].

Las principales enzimas del proceso se pueden observar en la Tabla 1. Estas enzimas tienen diferentes parámetros cinéticos los cuales, mediante estudios bioquímicos, determinan los tiempos adecuados de reacción a cada temperatura, ver Figura 3. Para la cervecería artesanal, con temperatura constante de maceración, se utiliza un tiempo de 90 a 120 minutos.

Tabla 1: Principales Enzimas del Proceso de Elaboración de Cerveza [5].

Enzima	Rango de Temperatura óptimo [°C]	PH óptimo	Función
Fitasa	30-52	5,0-5,5	Baja el pH de maceración
Desramificante	35-45	5,0-5,8	Solubiliza los almidones
Beta Glucanasa	35-45	4,5-5,5	Rompe los glucanos de la pared celular
Peptidasa	45-55	4,6-5,3	Produce Nitrógeno Amínico libre
Proteasa	45-55	4,6-5,3	Rompe proteínas que forman turbidez
Beta Amilasa	55-66	5,0-5,5	Produce maltosa
Alfa amilasa	66-72	5,3-5,7	Produce dextrinas de varios tamaños

Una vez finalizada la maceración, se procede a realizar la filtración, se separa el mosto de la parte insoluble llamada orujo o afrecho. Existen diferentes tipos de filtros, los cuales varían según la preferencia de la fábrica.

Una vez filtrado el mosto, se procede a aumentar la temperatura hasta la ebullición, con la finalidad de estabilizarlo enzimática y microbiológicamente. La descomposición de las enzimas con la ebullición evita que estas sigan actuando durante la fermentación. El mosto debe hervir 90 minutos, aproximadamente, durante los cuales se le añade el lúpulo.

2.2.3. Enfriamiento y Fermentación

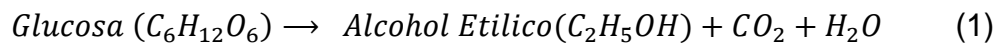
El proceso de enfriamiento es necesario para obtener la temperatura idónea para la fermentación. Para la fermentación de las levaduras se requiere una temperatura de 20°C para cervezas tipo ale y de 8°C para las cervezas tipo lager. Es importante mantener la temperatura estable ya que el proceso de fermentación genera calor, el cual puede afectar la fermentación.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, el mosto (estéril) está preparado para inocular la levadura. Es importante que el mosto esté a la temperatura

adecuada ya que una temperatura mayor puede dañar la levadura, lo que inhibe la fermentación.

La cantidad de levadura referencial para una cerveza lager es aproximadamente 0,4 g/L y para una cerveza ale es aproximadamente 0,6 g/L. Esta cantidad depende principalmente de los fabricantes, ya que una baja cantidad de levadura retarda el proceso de fermentación de la cerveza y una alta cantidad puede aumentar el proceso de fermentación, lo que genera una competición por los nutrientes; se produce un pobre desarrollo de la biomasa y favorece la aparición de esteres que producen mal sabor en la cerveza [4].

La fermentación es compleja, ya que se compone aproximadamente de unas 2.000 reacciones químicas. La reacción básica simplificada se puede observar en la siguiente ecuación.



Donde el alcohol etílico se obtiene a partir de la glucosa [5].

El proceso de fermentación dura de 4 a 5 días para la cerveza tipo ale y de 7 a 8 días para las cervezas tipo lager.

2.2.4. Maduración

Luego del proceso de fermentación, la cerveza pasa a la cuba de maduración donde es almacenada entre -2 y 0°C. La maduración puede durar desde 2 semanas hasta 6 meses.

Los objetivos de la maduración son la sedimentación de la materia amorfa y la levadura, y la refinación del sabor por eliminación de sustancias volátiles que causan mal sabor. En este proceso es necesario el almacenamiento estático.

2.2.5. Almacenamiento

Para almacenar la cerveza y para su comercialización existen 3 tipos de envases: latas, botellas y barril. Para almacenar la cerveza es necesario inyectar CO_2 en los estanques para conseguir la saturación deseada. Luego, con la máquina de llenado, se envasa en los recipientes.

2.2.6. Resumen de los usos energéticos

En una industria de cerveza artesanal tradicional se tienen los usos energéticos de la Tabla 2.

Tabla 2: Principales Usos Energéticos en CA.

Proceso	Energía térmica	Energía eléctrica	Energía mecánica
Molturación	-	-	Mano de Obra
Maceración	65°C (90 a 120 min)	-	-
Cocción	Ebullición (90 min)	-	-
Enfriamiento	-	Refrigeración (20°C Ale o 8°C Lager)	-
Fermentación	20°C o 8°C (4 a 8 días) *		-
Maduración	-	Refrigeración (-2°C a 0°C) (2 semanas a 6 meses)	-
Almacenamiento	-	Maquina embotelladora	Mano de Obra
Transporte de Fluido	-	Bombas de transporte	-

* Puede ser energía térmica o eléctrica (refrigeración) según la temperatura del lugar de preparación.

2.3. Caracterización del fluido

La cerveza se considera un fluido bifásico ya que se encuentra de forma simultánea líquido y gas. Este fluido tiene una densidad que oscila normalmente entre 1.005 kg/m³ y 1.060 kg/m³, una capacidad calorífica aproximada de 3,73 kJ/kgK y una viscosidad cinemática de 1,8 mm²/s [4].

Estas características del fluido varían levemente según la preparación y la temperatura a la cual se encuentra el fluido. Estas variaciones normalmente se consideran despreciables debido a su mínimo cambio de magnitud.

2.4. Portafolio de ERNC aplicables a la CACH

Para la implementación de ERNC en la industria, es necesario desarrollar diferentes opciones de generación de energía eléctrica y térmica. Para la energía térmica se analizan colectores solares térmicos y combustión de pellets de biomasa. Para la energía eléctrica se analizan paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas.

2.4.1. Energía Solar

La energía solar es la energía obtenida a partir de la radiación electromagnética procedente del sol. Esta energía renovable puede ser transformada en energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos o a energía térmica a través de colectores solares. La generación de energía con la radiación solar no genera gases efecto invernadero en el proceso de producción; por lo cual es una alternativa energética muy atractiva actualmente.

La energía solar térmica consiste en transferir la energía proveniente del sol, mediante colectores solares, a un medio portador de calor, como el agua o el aire. Dependiendo de la tecnología utilizada la energía solar térmica puede ser usada como tal, o ser transformada [6].

Los colectores de energía solar térmica se encargan de captar la energía térmica de la radiación del sol. Dependiendo del uso que se requiera, existen colectores solares de baja temperatura (hasta 65°C), colectores de media temperatura (entre 100 y 300°C) y colectores de alta temperatura (sobre 500°C). Además, existen diferentes tecnologías de captación solar. En la Figura 4 se puede observar un esquema básico de una instalación de energía solar térmica.

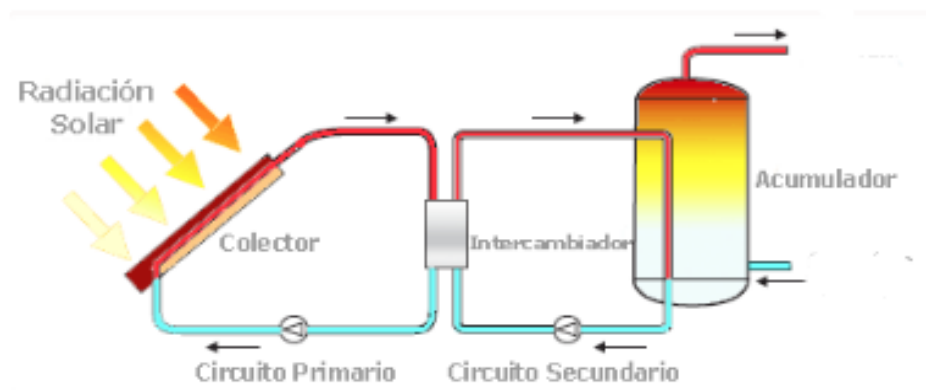


Figura 4: Instalación de Energía Solar Térmica.

Por otro lado, existen paneles fotovoltaicos los cuales transforman directamente la energía solar en energía eléctrica. Estos paneles utilizan materiales semiconductores, que generan una corriente eléctrica cuando incide la radiación solar en ellos [7].

Para la implementación de energía solar es necesario evaluar el recurso solar en el lugar donde se desea instalar, la posición ideal para los paneles y el espacio físico donde se desea hacer la instalación. En la Figura 5 se puede observar la radiación normal directa del País. Es importante definir la cantidad de energía que se desea generar para evaluar el espacio necesario para la instalación. Para mayor generación de energía solar se requiere de mayor área de instalación.

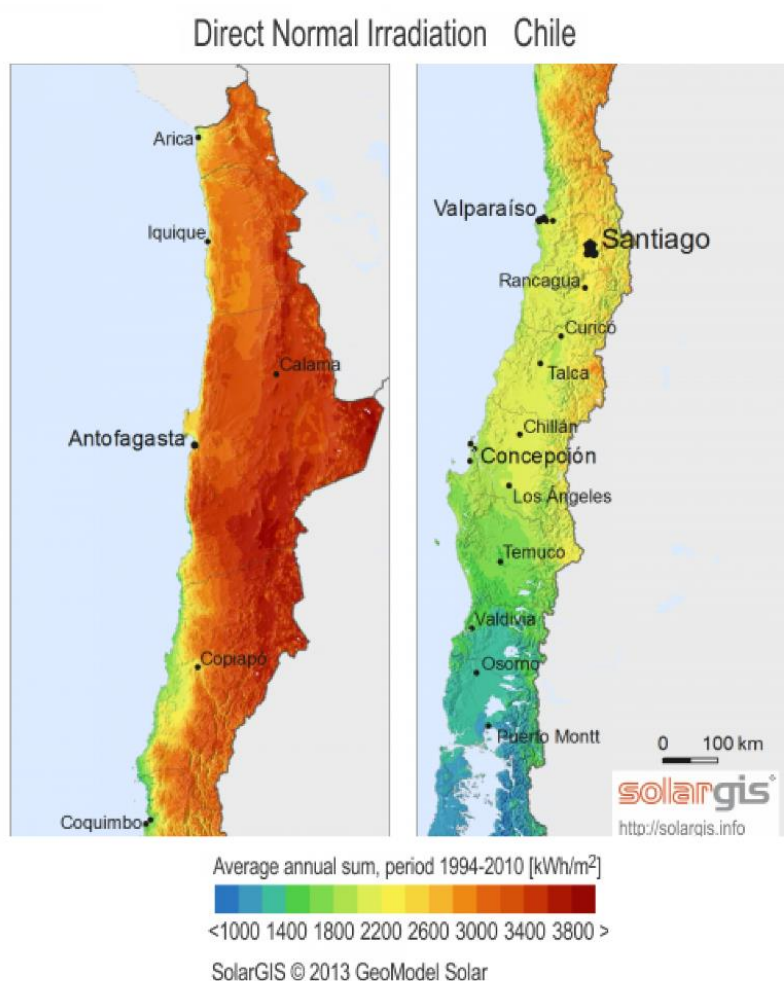


Figura 5: Mapa Solar Chile [8].

2.4.2. Energía Eólica

El recurso eólico ha sido utilizado como fuente de energía desde hace muchos años. Por ejemplo, el viento se usaba para impulsar barcos, molinos y bombear agua. Las turbinas eólicas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, la cual a través de un generador produce energía eléctrica.

La energía eólica se considera como una de las alternativas más viables para los combustibles fósiles. Se puede observar en la Figura 6 el mapa eólico de Chile. Esta energía se caracteriza por ser renovable, de amplia distribución y limpia, sin emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la operación de las turbinas [9].

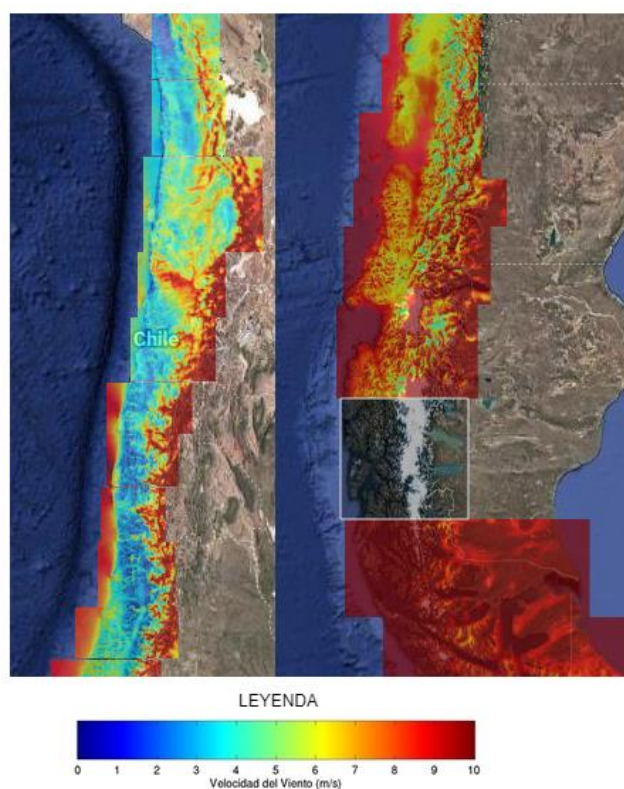


Figura 6: Mapa Eólico Chile [10].

En general los aerogeneradores son destinados a ser montado en áreas bastante abiertas. El rendimiento de estos sistemas en muchos casos se ve afectado por la proximidad a los edificios. Existen varios métodos para la evaluación inicial de los recursos eólicos, basado en datos medidos por estaciones meteorológicas. Esto es importante para la selección de la turbina ya que el tamaño depende del uso y la zona donde será instalada [9]. El rango de turbinas utilizadas para industrias se encuentra entre los 20 watts y los 100 kilowatts.

2.4.3. Energía a partir de Biomasa

Debido a que mundialmente se utilizan combustibles fósiles, que están al borde del agotamiento, como el petróleo y el carbón; el uso de fuentes de energía renovables se ha vuelto cada vez más urgente. Las fuentes de energía renovables deben estar ampliamente disponibles y ser económicamente competitivas. La biomasa no solo tiene un potencial considerable como fuente de combustible, sino que también es rentable en comparación con otras energías renovables.

El pellet de madera es un tipo de biomasa condensada de tamaño unificado, diseñada para tener mejores capacidades de transporte, almacenamiento y alimentación en comparación con la de muchos otros combustibles de biomasa. Los sistemas de combustión que utilizan pellets de madera como combustible pueden ser aplicados a grandes instalaciones de consumo de energía, como calderas, hornos industriales y hornos de secado [11].

Los pellets tienen un elevado poder calorífico el cual puede llegar a los 4,9 kWh/kg. Además, las calderas para la combustión de biomasa tienen una eficiencia sobre el 90% por lo cual es considerable utilizar calderas de fluido para diferentes procesos térmicos dentro de la industria o para la generación de energía eléctrica a partir de la energía térmica.

2.5. Análisis de Mercado

El análisis de mercado consiste en el análisis de la estructura de la oferta, la evolución reciente de la producción y la situación económico-financiera del sector.

La cervecería artesanal pertenece al sector económico secundario; NO AGROINDUSTRIAL, de elaboración de PRODUCTOS ALIMENTICIOS. Dentro de este sector pertenece a la Elaboración de bebidas malteadas y de malta, específicamente fabricación de cervezas.

La cerveza es una de las bebidas más populares en todo el mundo y es la bebida alcohólica más consumida en Chile. En general el consumo de cerveza en Chile ha ido aumentando a través de los años pasando de 25 litros per cápita al año en 2002 a 46 litros en 2016. Actualmente la industria continúa creciendo, potenciada por el aumento de productores, la innovación y la diversificación de la oferta. El crecimiento de la industria en general es cercano al 3% [2].

La interacción con el mercado internacional va en aumento. La importación de cerveza va en alza, la Asociación de Productores de Cerveza de Chile (Acechi) indicó que actualmente la entrada de este producto representa el 20% del total de los litros consumidos en el país (Figura 7), un 8% más que en 2017, alcanzando

casi los 207 millones de litros importados. Además, ha aumentado la cantidad de exportaciones identificándose actualmente ya varias compañías con presencia en diferentes mercados extranjeros.

El volumen de producción fue de 7,2 millones de HI el año 2016 y un 7,7 millones de HI el año 2018 [2].

Durante el año 2018 se estima que hubo una comercialización de 965 millones de litros, cifra que representa un aumento de más del 6% respecto de las ventas en 2017. Las ventas capitalizaron unos 3.805 millones de dólares el 2018, casi duplicando (92,8%) lo que se vendía en 2013 [12]. La Acechi reveló que la industria de producción nacional es actualmente la catorceava en importancia para Chile, representando el 0,1% del PIB chileno.

La industria de cervecería artesanal corresponde aproximadamente al 1% de la producción de cerveza en Chile. La cervecería artesanal se desenvuelve dentro del marco de creciente demanda de productos naturales, de calidad y elaborados de manera artesanal. En particular la producción de cerveza artesanal ha tenido un fuerte crecimiento en los últimos años, entre el 15% y el 20% [2].

La cantidad de productores de cervecería artesanal ha crecido considerablemente en Chile, del centenar de productores que había el 2002 ha crecido a alrededor de 300 productores actuales [2]. Geográficamente en todas las regiones de Chile existen cervecerías artesanales.

Algunas cervecerías tienen importantes proyectos y planes de crecimiento. Actualmente existen varias que ya han invertido en el aumento de su capacidad productiva.

El mercado cervecero se considera estable y en crecimiento, por lo cual es atractivo para introducir una nueva propuesta tecnológica que cause impacto.

Tabla 3: Síntesis 2018.

Cantidad de cervecerías artesanales	≈300
Producción	772 millones de litros
Comercialización	965 millones de litros
Capitalización	3.805 millones de dólares
Crecimiento total	3%
Crecimiento Cervecerías artesanales	15-20% anual

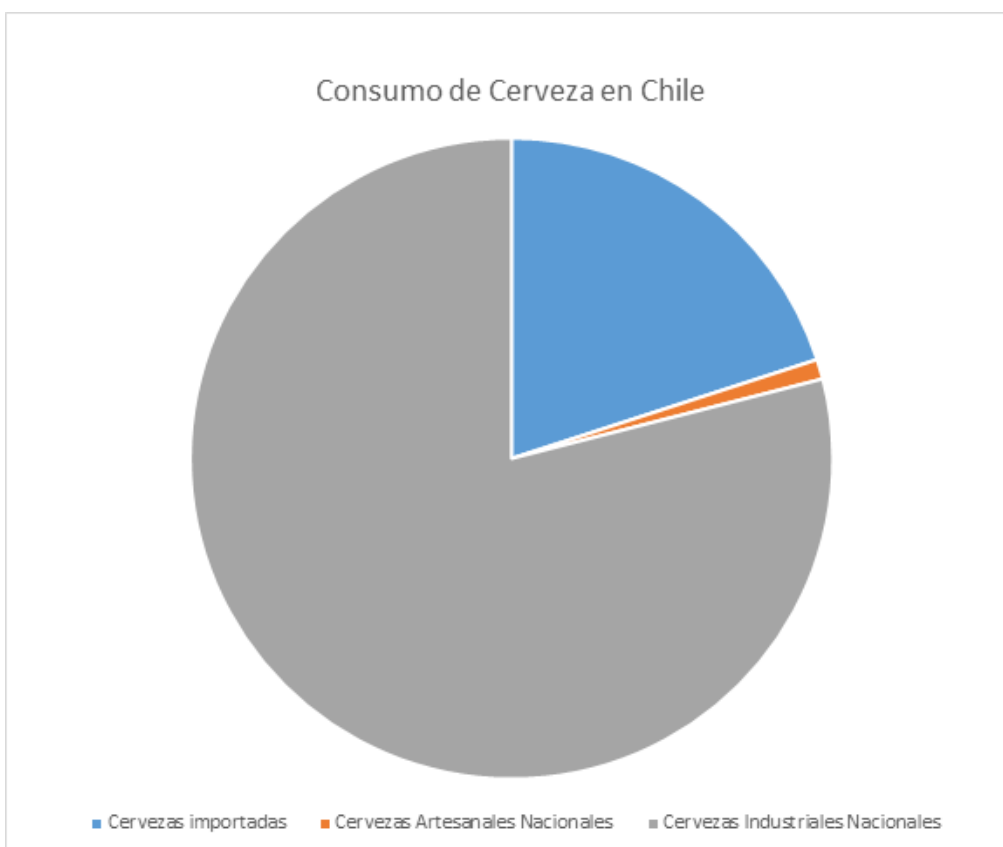


Figura 7: Consumo de Cerveza en Chile.

3. Metodología

La estrategia planteada para llevar a cabo el trabajo de título (Figura 8), en primera instancia, corresponde a la recopilación de antecedentes de las industrias de CA en Chile. Se realizan al menos 3 visitas a diferentes industrias cerveceras. Luego, se analizan los diferentes tipos de plantas de CA existentes en el país.

Posteriormente se realiza el reconocimiento de la industria cervecera y se construyen diagramas de flujo de procesos (PFD) típicos de la fabricación de la cerveza. Luego, se procede a caracterizar la matriz energética de la industria para sus requerimientos térmicos y eléctricos necesarios para la preparación de la cerveza.

Una vez obtenida la caracterización energética se desarrolla un portafolio con las opciones de incorporación de diferentes tipos de ERNC en los procesos. Se realiza un análisis de la eficiencia energética de las diferentes opciones.

Por último, se desarrolla el estudio de prefactibilidad y se realiza un análisis técnico-económico de las opciones de ERNC susceptibles de ser incorporadas en la industria. Finalmente se concluye el proyecto.

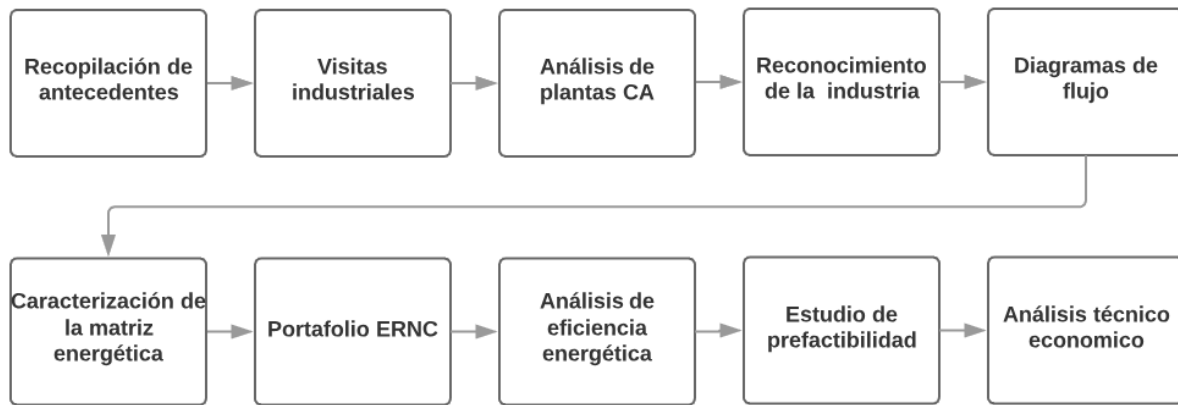


Figura 8: Diagrama de Metodología Empleada.

4. Visitas industriales

4.1. Solicitud

Es necesario realizar visitas industriales a diferentes plantas de cervecería artesanal, con el objetivo de conocer la industria, obtener su matriz energética y los usos habituales. Para esto se realizó un listado de diferentes cervecerías artesanales con el contacto correspondiente a cada una. Se analizó cuáles serían las cervecerías con mayor posibilidad de ser visitadas. De estas se seleccionaron 10 cervecerías.

Se redactaron cartas para los dirigentes o representantes de cada cervecería seleccionada, firmadas por el Profesor Guía y el Jefe Docente del Departamento de Ingeniería Mecánica, solicitando una visita técnica, para estudio de aplicación de ERNC. Se redactó un correo conductor y se envió a cada cervecería, adjuntando la carta correspondiente.

Se realizó un seguimiento a cada cervecería resolviendo dudas y coordinando fechas de preferencia. Finalmente se generó una agenda de visitas con las cervecerías interesadas en colaborar con la investigación.

4.2. Formulario

Se realizó un seguimiento a cada cervecería resolviendo dudas y coordinando fechas de preferencia. Finalmente se generó una agenda de visitas con las cervecerías interesadas en colaborar con la investigación.

Con el fin de obtener toda la información necesaria de cada cervecería a visitar, se desarrolló un formulario de eficiencia energética. El formulario consta de 2 secciones una de antecedentes generales y otra de antecedentes energéticos.

Dentro de los antecedentes generales se recopilan datos de la empresa participante y antecedentes productivos. En la sección de antecedentes energéticos de la empresa se obtienen los datos anuales de consumo y gasto energético, sistemas energéticamente relevantes para la empresa, usos de la energía en la empresa y el proceso productivo.

El formulario fue enviado con anterioridad a las cervecerías a visitar, para que el día de la visita contarán con la información necesaria que requiere el análisis de eficiencia energética.

4.3. Aplicación

Finalmente se visitaron 5 cervecerías de diferentes lugares; Tubingüer en Pirque, Coda en Casa Blanca, Cuello Negro y Selva Fría en Valdivia y Luthier en Los Ángeles (Figura 9). Todas las visitas cumplieron su objetivo ya que se conocieron distintas industrias y se obtuvo toda la información energética requerida en el formulario.



Figura 9: Fotografías de las diferentes cervecerías visitadas.

5. Resultados de las Visitas Industriales

5.1. Recopilación de Datos

De las visitas industriales se obtuvo la información necesaria para formar la base de datos. Los datos se agrupan en 2 categorías de información, antecedentes generales y productivos; y antecedentes energéticos. Los datos obtenidos se presentan en las tablas 4 a 9.

Tabla 4: Antecedentes Generales y Productivos.

CA	Tubingüer*	Coda	Luthier*	Cuello Negro	Selva Fría
Ubicación	Santiago	Santiago	Los Ángeles	Valdivia	Valdivia
Nivel de producción [Hl/año]	8.400	1.560	600	6.600	420
Superficie [m²]	375	300	90	400	72
Empleados	11	10	2	10	3
Productos elaborados	7	12	5	2	3
Régimen de operación	Continúa	Semi Continúa	Semi Continúa	Continúa	Estacional
Procesos productivos energéticamente relevantes	Maceración Cocción Refrigeración	Maceración Cocción Refrigeración	Maceración Cocción Refrigeración	Maceración Cocción Refrigeración	Maceración Cocción Refrigeración
Equipos con relevancia para el consumo energético	Quemadores y sistema de refrigeración	Quemadores y sistema de refrigeración	Quemadores y sistema de refrigeración	Quemadores y sistema de refrigeración	Quemadores y sistema de refrigeración
*Cervecerías con recuperación de energía térmica implementada (Sección 5.5).					

Tabla 5: Antecedentes Energéticos Cervecería Tubingüer.

Datos anuales del consumo y del gasto energético					
Fuente de energía	cantidad física	unidad	Cont. energético	unidad	Gasto energético [€]
Electricidad	103.294	kWh	103.294	kWh _{el}	20.400.000
Gas Licuado de Petróleo	17.998	kg	252.878	kWh _{th}	12.598.600
Total	-	-	356.173	kWh	32.998.600
Sistemas energéticamente relevantes en la empresa					
Sistemas de combustibles (u otras fuentes no eléctricas)	Equipo de Maceración y Cocción.				
Sistemas eléctricos	Chiller de Refrigeración y Cámara de frío.				
Usos de energía en la empresa					
Usos térmicos	Preparación de la Cerveza.				
Usos mecánicos	Molienda del Grano, Traslado del Grano y Transporte de Fluidos.				
Otros usos de energía, ni térmicos, ni mecánicos	Iluminación y Sistemas de Control.				
Proceso Productivo					
	Pasos del proceso productivo			Equipo utilizado	
1.	Molienda del grano			Molino	
2.	Precalentamiento del agua para maceración			Olla de Precalentamiento	
3.	Mezcla del grano y el agua			Tornillo Transportador	
4.	Maceración			Olla de Maceración	
5.	Filtración			Whirlpool	
6.	Agregar Lúpulo			Manual	
7.	Cocción			Olla de Maceración	
8.	Enfriamiento			Chiller	
9.	Agregar levadura			Manual	
11.	Fermentación			Fermentador	
12.	Maduración			Fermentador	
13.	Envasado			Equipo de envasado	

Tabla 6: Antecedentes Energéticos Cervecería Coda.

Datos anuales del consumo y del gasto energético					
Fuente de energía	cantidad física	unidad	Cont. energético	unidad	Gasto energético [\$]
Electricidad	30.381	kWh	30.381	kWh _{el}	6.000.000
Gas Licuado de Petróleo	9.602	kg	134.915	kWh _{th}	6.721.400
Total	-	-	165.296	kWh	12.721.400
Sistemas energéticamente relevantes en la empresa					
Sistemas de combustibles (u otras fuentes no eléctricas)	Equipo de Maceración y Cocción.				
Sistemas eléctricos	Chiller de Refrigeración y Cámara de frío.				
Usos de energía en la empresa					
Usos térmicos	Preparación de la Cerveza.				
Usos mecánicos	Molienda del Grano y Transporte de Fluidos.				
Otros usos de energía, ni térmicos, ni mecánicos	Iluminación y Sistemas de Control.				
Proceso Productivo					
	Pasos del proceso productivo			Equipo utilizado	
1.	Molienda del grano			Molino	
2.	Precalentamiento del agua para maceración			Olla de Precalentamiento	
3.	Mezcla del grano y el agua			Manual	
4.	Maceración			Olla de Maceración	
5.	Filtración			Filtro por Gravedad	
6.	Agregar Lúpulo			Manual	
7.	Cocción			Olla de Cocción	
8.	Enfriamiento			Chiller	
9.	Agregar levadura			Manual	
11.	Fermentación			Fermentador	
12.	Maduración			Fermentador	
13.	Envasado			Equipo de envasado	

Tabla 7: Antecedentes Energéticos Cervecería Luthier.

Datos anuales del consumo y del gasto energético					
Fuente de energía	cantidad física	unidad	Cont. energético	unidad	Gasto energético [\$]
Electricidad	21.267	kWh	21.267	kWh _{el}	4.200.000
Gas Natural	6.637	m ³	72.014	kWh _{th}	8.160.000
Total	-	-	93.281	kWh	12.360.000
Sistemas energéticamente relevantes en la empresa					
Sistemas de combustibles (u otras fuentes no eléctricas)	Equipo de Maceración y Cocción.				
Sistemas eléctricos	Chiller de Refrigeración y Cámara de frío.				
Usos de energía en la empresa					
Usos térmicos	Preparación de la Cerveza.				
Usos mecánicos	Molienda del Grano y Transporte de Fluidos.				
Otros usos de energía, ni térmicos, ni mecánicos	Iluminación y Sistemas de Control.				
Proceso Productivo					
	Pasos del proceso productivo			Equipo utilizado	
1.	Molienda del grano			Molino	
2.	Precalentamiento del agua para maceración			Olla de Precalentamiento	
3.	Mezcla del grano y el agua			Manual	
4.	Maceración			Olla de Maceración	
5.	Filtración			Filtro por Gravedad	
6.	Agregar Lúpulo			Manual	
7.	Cocción			Olla de Cocción	
8.	Enfriamiento			Chiller	
9.	Agregar levadura			Manual	
11.	Fermentación			Fermentador	
12.	Maduración			Fermentador	
13.	Envasado			Equipo de envasado	

Tabla 8: Antecedentes Energéticos Cervecería Cuello Negro.

Datos anuales del consumo y del gasto energético					
Fuente de energía	cantidad física	unidad	Cont. energético	unidad	Gasto energético [\$]
Electricidad	85.066	kWh	85.066	kWh _{el}	16.800.000
Gas Licuado de Petróleo	36.072	kg	506.813	kWh _{th}	25.250.400
Total	-	-	591.876	kWh	42.050.400
Sistemas energéticamente relevantes en la empresa					
Sistemas de combustibles (u otras fuentes no eléctricas)	Equipo de Maceración y Cocción.				
Sistemas eléctricos	Chiller de Refrigeración y Cámara de frío.				
Usos de energía en la empresa					
Usos térmicos	Preparación de la Cerveza.				
Usos mecánicos	Molienda del Grano, Traslado de Grano y Transporte de Fluidos.				
Otros usos de energía, ni térmicos, ni mecánicos	Iluminación y Sistemas de Control.				
Proceso Productivo					
	Pasos del proceso productivo	Equipo utilizado			
1.	Molienda del grano	Molino			
2.	Pre calentamiento del agua para maceración	Olla de Pre calentamiento			
3.	Mezcla del grano y el agua	Conducto por Gravedad			
4.	Maceración	Olla de Maceración			
5.	Filtración	Filtro por Gravedad			
6.	Agregar Lúpulo	Manual			
7.	Cocción	Olla de Maceración			
8.	Enfriamiento	Chiller			
9.	Agregar levadura	Manual			
11.	Fermentación	Fermentador			
12.	Maduración	Macerador			
13.	Envasado	Equipo de envasado			

Tabla 9: Antecedentes Energéticos Cervecería Selva Fría.

Datos anuales del consumo y del gasto energético					
Fuente de energía	cantidad física	unidad	Cont. energético	unidad	Gasto energético [\$]
Electricidad	17.074	kWh	17.074	kWh _{el}	3.372.000
Gas Licuado de Petróleo	5.451	kg	76.589	kWh _{th}	3.815.700
Total	-	-	93.663	kWh	7.187.700
Sistemas energéticamente relevantes en la empresa					
Sistemas de combustibles (u otras fuentes no eléctricas)	Equipo de Maceración y Cocción.				
Sistemas eléctricos	Chiller de Refrigeración.				
Usos de energía en la empresa					
Usos térmicos	Preparación de la Cerveza.				
Usos mecánicos	Molienda del Grano y Transporte de Fluidos.				
Otros usos de energía, ni térmicos, ni mecánicos	Iluminación y Sistemas de Control.				
Proceso Productivo					
	Pasos del proceso productivo			Energía utilizada	
1.	Molienda del grano			Molino	
2.	Precalentamiento del agua para maceración			Olla de Precalentamiento	
3.	Mezcla del grano y el agua			Manual	
4.	Maceración			Olla de Maceración	
5.	Filtración			Filtro por Gravedad	
6.	Agregar Lúpulo			Manual	
7.	Cocción			Olla de Maceración	
8.	Enfriamiento			Chiller	
9.	Agregar levadura			Manual	
11.	Fermentación			Fermentador	
12.	Maduración			Fermentador	
13.	Envasado			Equipo de envasado	

5.2. Indicadores Obtenidos

De los datos obtenidos en las visitas a las cervecerías se calcularon los indicadores de la tabla 10.

Tabla 10: Indicadores.

	Indicadores de eficiencia energética				Indicadores de producción	
	HI/año	kWh _{el} /l	kWh _{th} /l	kWh/l	l/m ²	l/empleados
Tubingüer	8.400	0,12	0,30	0,42	22,40	763,64
Coda	1.560	0,19	0,86	1,05	5,20	156,00
Luthier	600	0,35	1,20	1,55	6,67	300,00
Cuello Negro	6.600	0,12	0,76	0,89	16,50	660,00
Selva Fría	420	0,40	1,82	2,23	5,83	140,00
Desviación Estándar	-	54%	57%	56%	-	-

5.3. Análisis de las Plantas

Los indicadores de eficiencia energética muestran la cantidad de energía utilizada por cada litro de cerveza producido. Esto significa que mientras más bajo es el nivel del indicador, más eficiente es la planta. De la Tabla 10 se observa que a mayor producción las plantas son más eficientes.

Los indicadores de producción muestran la cantidad de litros producidos por recurso. Es por esto mientras más alto es el nivel de estos indicadores, mejor se utiliza el recurso. Del indicador de uso de espacios de la planta se desprende que el uso de la superficie es relativo dependiendo del tamaño de los pasillos, la distancia entre equipos y la distribución de la planta. Del indicador de producción por personal se desprende, a grandes rasgos, que existen empleados más eficientes que otros; dependiendo de las funciones que cumple cada uno, jornadas laborales, organización y el límite de producción.

De la base de datos se observa que todas las cervecerías utilizan dos tipos de fuentes de energía: energía eléctrica y un combustible. Todas las cervecerías visitadas utilizan gas (gas natural GN y gas licuado de petróleo GLP) como combustible para los sistemas de combustión para generar calor directo. Estos sistemas se utilizan en la maceración y cocción.

Las plantas utilizan energía eléctrica comúnmente en sistemas de bombeo, sistemas de refrigeración, iluminación y sistemas de control.

El mayor costo en la producción de cerveza es el combustible para el sistema de combustión para generar calor directo.

Se logró visitar aproximadamente el 1,7% de las cervecerías artesanales que están registradas actualmente en Chile. El estudio analizó 5 cervecerías artesanales de un universo actual de 300 industrias, se obtuvo un nivel de confianza del 65% con un margen de error del 20%. Esta confiabilidad es baja debido a que se considera una pequeña muestra del universo.

5.4. Reconocimiento de la Industria según las visitas

La industria de cervecería artesanal tiene procesos estándar de producción. Estos procesos son mlturación, maceración, filtrado, cocción, enfriamiento y fermentación, maduración y almacenamiento. Se caracteriza principalmente por los procesos térmicos que requiere el proceso productivo. Analizando todas las cervecerías visitadas y el proceso en general, el mayor gasto energético para la industria se produce en los procesos de maceración y cocción, seguidos por los procesos de refrigeración (enfriamiento, fermentación y maduración).

La maceración y cocción se caracterizan por aumentar la temperatura de grandes volúmenes de fluido y mantenerla constante por un periodo de tiempo determinado. Este aumento de temperatura en el fluido se obtiene típicamente de la combustión de gas (GLP o GN). Es necesario un gran volumen de gas para alcanzar las temperaturas y mantenerlas en el tiempo requerido, por lo que el mayor gasto de la industria es en gas.

En algunas industrias se recupera parte de la energía térmica usada en la cocción y es reutilizada para una próxima maceración. Este proceso consiste en enfriar el mosto en 2 etapas una vez finalizada la cocción. El proceso consiste en utilizar agua a temperatura ambiente para enfriar el mosto después de la cocción. En la primera etapa de enfriamiento se utiliza agua a temperatura ambiente la cual a través de un intercambiador de calor absorbe energía térmica del mosto recuperando agua caliente la cual es almacenada y utilizada para la siguiente

maceración. Luego en la segunda etapa de enfriamiento se utiliza glicol para alcanzar la temperatura adecuada para la fermentación.

Los procesos de refrigeración son realizados típicamente a través de un chiller el cual es una unidad de refrigeración de fluidos. Este chiller es alimentado de energía eléctrica y utiliza típicamente glicol como fluido refrigerante. Este fluido refrigerante a bajas temperaturas es utilizado para el enfriamiento del mosto luego de la cocción y para mantener la temperatura adecuada en la fermentación y maduración.

Los procesos de mezcla y de transporte de fluidos, tienen un consumo energético menor en comparación al consumo energético para los procesos térmicos.

En la industria de cervecería artesanal existen pérdidas energéticas, principalmente térmicas. Existe la posibilidad de disminuir las pérdidas ya que se deben principalmente a la falta de aislación y falta de recuperación de energía térmica en el proceso de enfriamiento.

Las industrias cerveceras visitadas tienen un tiempo de fermentación y maduración de una semana para cada proceso.

Los procesos de fermentación y maduración son el cuello de botella de la producción pues requieren de mayor tiempo. Por esto el límite de la producción se calcula en base a la cantidad de fermentadores y maceradores que posee la planta.

Según las visitas, como se puede observar en la Tabla 10, la superficie de cada cervecería no necesariamente representa su nivel de producción. Esto depende del uso de espacios, la superficie designada para pasillos, la organización de cada zona de trabajo y además, en ocasiones tienen espacio extra en caso de expansión.

El personal que trabaja en cada cervecería (Tabla 4) está relacionado con la cantidad de producción, labores, horarios de trabajo y eficiencia. Como se observa en la Tabla 10 los indicadores de producción están entre 140 y 763 litros por cantidad de empleados.

5.5. Diagramas de Flujo

Existen 2 diagramas de flujos típicos para la industria cervecera. Estos 2 diagramas son muy similares ya que se utilizan los mismos equipos y se realizan los mismos procesos de producción. La diferencia entre ellos es que uno aumenta la eficiencia del proceso ya que recupera energía térmica en el proceso de enfriamiento.

El diagrama de flujo básico (Figura 10) inicia con el introducir el grano al molino. Una vez molido el grano se mezcla con agua caliente en la olla para el proceso de maceración. Terminado el proceso de maceración el mosto de cerveza pasa por un filtro, donde se le extrae el orujo. Luego el mosto filtrado es llevado a la olla de cocción donde se le agrega el lúpulo. Terminado el proceso de cocción se lleva a enfriar, para esto pasa por 2 intercambiadores de calor. El primer proceso de refrigeración del mosto es con agua a temperatura ambiente y el segundo es con glicol proveniente de un chiller de absorción. Una vez enfriado, el mosto pasa al fermentador donde se inocula la levadura. Terminado el proceso de fermentación se pasa a la maceración. Luego de la maceración la cerveza se encuentra lista para ser almacenada.

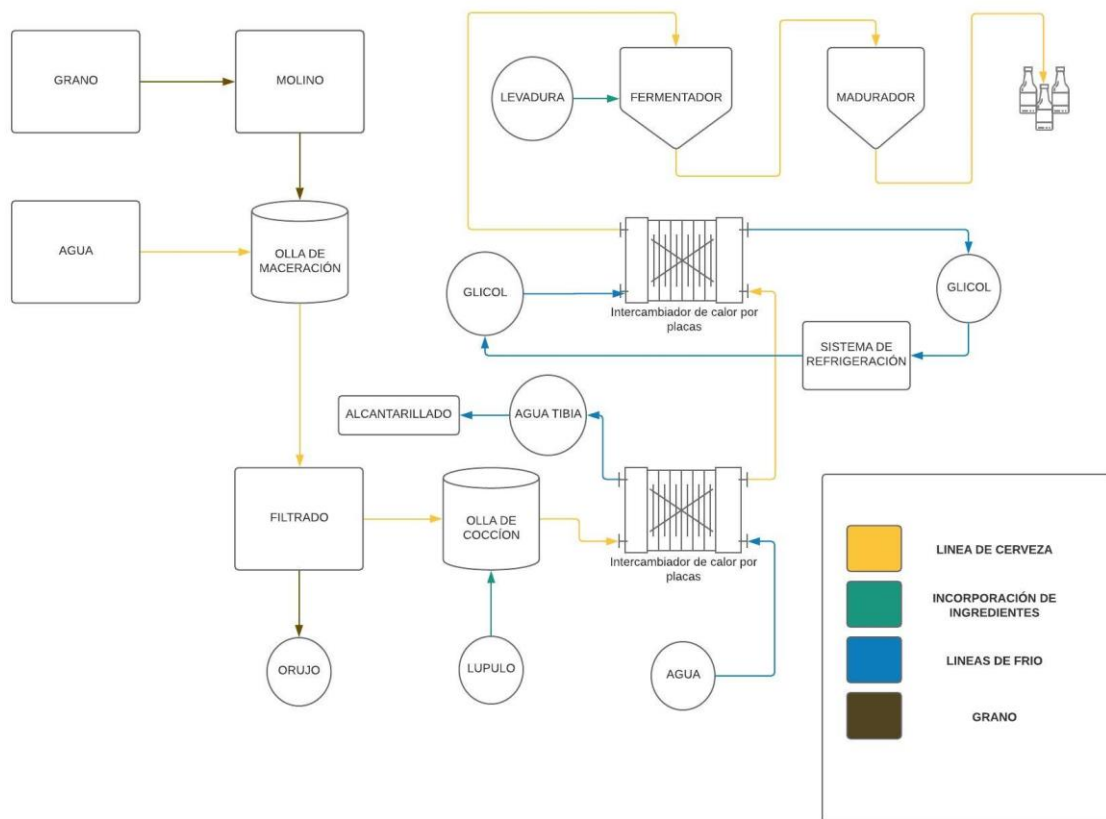


Figura 10: Diagrama de Flujo Básico.

El diagrama de flujo con recuperación de energía térmica (Figura 11) tiene el mismo proceso de preparación de la cerveza que el diagrama de flujo básico. La diferencia es que luego del primer proceso de enfriamiento, el agua que pasa por el intercambiador de calor como fluido refrigerante es trasladada hasta la olla de maceración. La energía térmica absorbida por el fluido refrigerante es utilizada en la próxima maceración, disminuyendo el uso de combustibles y aumentando la eficiencia de producción.

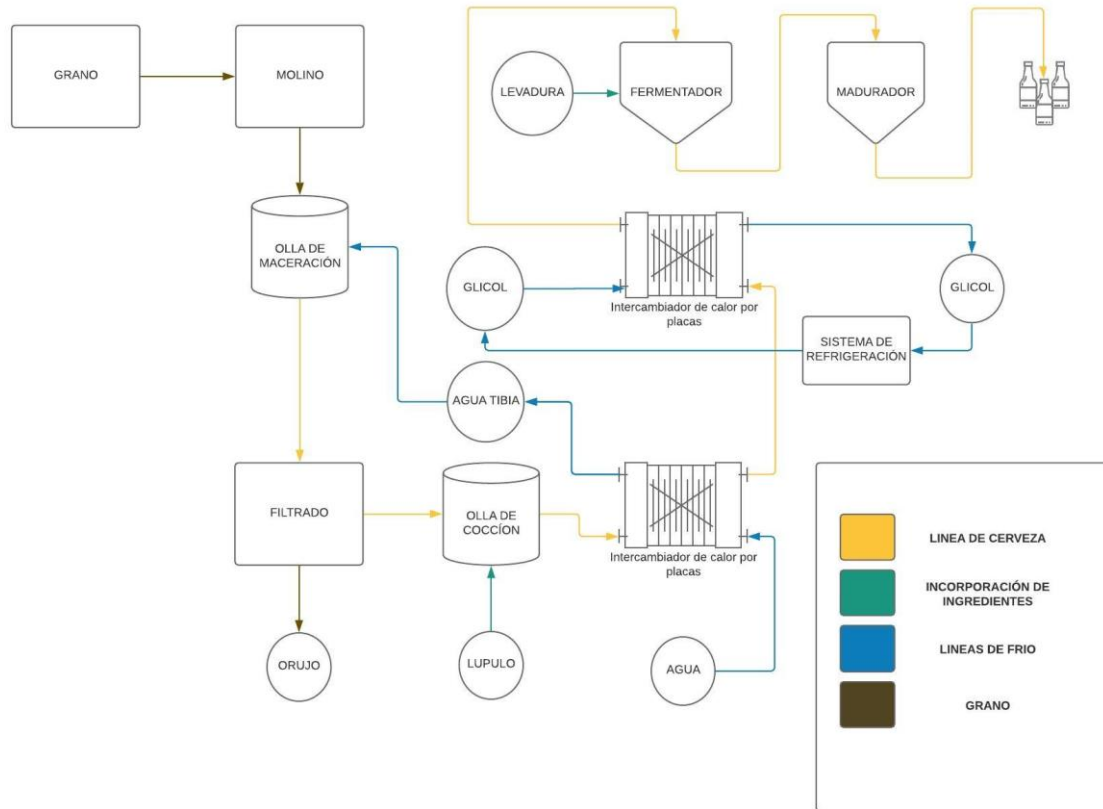


Figura 11: Diagrama de Flujo con Recuperación.

En algunas industrias de CA se utilizan los mismos equipos para fermentación y maduración y para cocción y maduración. Esta práctica se debe a la economía de espacio y equipos, y es posible ya que los equipos tienen la capacidad de cumplir las 2 funciones.

5.6. Layout

Para la industria cervecera es importante que la disposición de la planta sea óptima. La distribución de las máquinas y equipos tiene que estar relacionada con el proceso productivo.

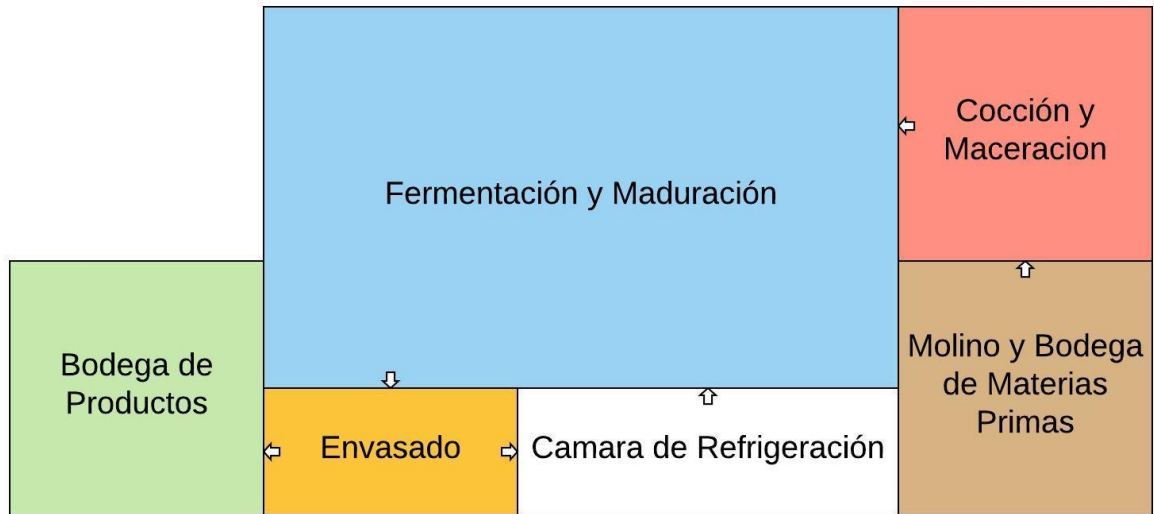


Figura 12: Layout típico de las plantas.

En la Figura 12 se observa un layout típico. El sector de molino y bodega de materias primas debe estar contigua a la zona de maceración y cocción, para minimizar el traslado del grano molido a las ollas. Siguiendo el proceso de producción la fermentación y maduración deben estar alejada a la maceración y cocción para optimizar el traslado de fluidos. Además, la fermentación y maduración normalmente está ubicada al lado de la cámara de refrigeración ya que en ese lugar se almacenan las levaduras que se agregan en el proceso de fermentación. Finalmente, la zona de envasado está junto a la zona de fermentación y maduración ya que es el proceso siguiente de producción. A su vez el proceso de envasado normalmente está cercano a la bodega de productos y la cámara de refrigeración ya que los barriles de cerveza van directamente a la bodega y las botellas tienen que pasar 2 semanas en la cámara de refrigeración para la segunda fermentación antes de ser trasladadas a la bodega de productos.

Del layout típico cabe destacar las proporciones de las superficies, ya que normalmente se destina el mayor porcentaje de la superficie a la zona de fermentación y maceración. Al ser los procesos más largos en la producción de cerveza, son el cuello de botella de la producción y se necesitan una mayor cantidad de equipos para su producción en paralelo. Por otro lado, la zona de molino y bodega de materias primas, la zona de cocción y maceración y la bodega de productos tienen una superficie similar dentro de la planta. La zona de refrigeración y envasado tienen una superficie similar y son de las zonas que utilizan menor superficie dentro de la planta.

5.7. Caracterización de la Matriz Energética

Las industrias cerveceras normalmente componen su matriz energética con energía eléctrica y energía térmica a partir de un combustible. El combustible que utilizan normalmente es GLP y en algunas ocasiones GN.

En la Tabla 11 se puede observar que el mayor consumo es en energía térmica, superando el 70% del total del consumo. La planta con mayor consumo térmico es las Cervecería Cuello Negro.

La energía eléctrica utilizada por las cervecerías es menor al 30% de la matriz energética de la industria en general. La planta con mayor consumo eléctrico es Cervecería Tubingüer.

La variación de los porcentajes de la matriz energética tiene una desviación estándar de 5,58% por lo cual se podría generalizar la toma de datos para la industria cervecera artesanal en general, ya que la desviación estándar es menor al 20%.

Tabla 11: Porcentaje de energía térmica y energía eléctrica por planta,

	kWh _{th} [%]	kWh _{el} [%]
Tubingüer	71	29
Coda	82	18
Luthier	77	23
Cuello Negro	86	14
Selva Fría	82	18

En la Figura 13 se puede observar la matriz energética promedio de las cervecerías visitadas.

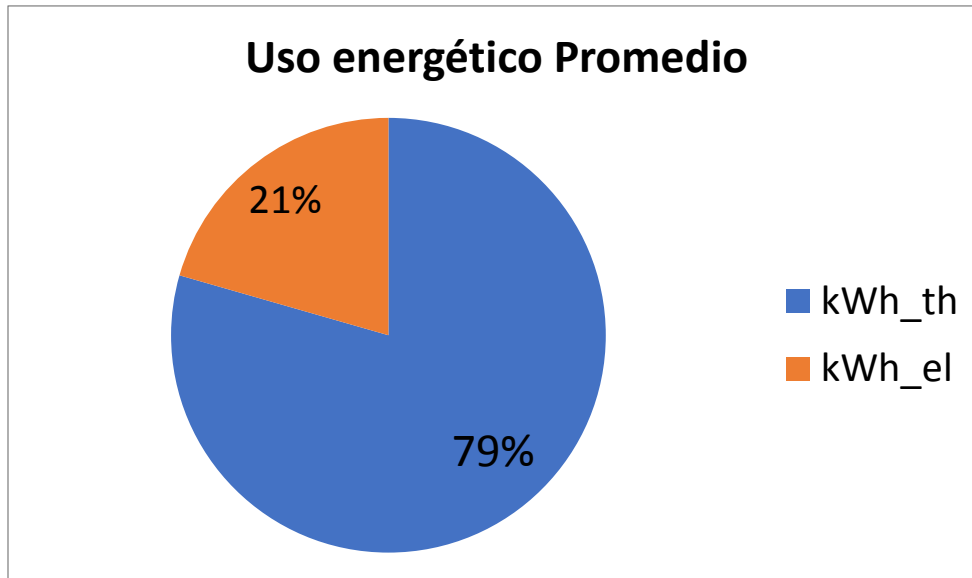


Figura 13: Promedio de los Usos Energéticos de las Plantas Visitadas.

5.8. Análisis Sectorial

La energía que consume cada CA está relacionada con la cantidad de producción y con el tipo de equipos que se utilizan en los procesos.

En la Figura 14 se observa que el consumo eléctrico de las cervecerías visitadas tiene una tendencia de aumento lineal al aumentar la cantidad de producción. Esto se debe a que los equipos son similares y no varían su forma de uso con respecto a cada cervecería.

En la Figura 14 se observa que el consumo térmico no tiene un comportamiento definido según el aumento de producción. Esto puede deberse a que no se considera la temperatura ambiente donde está ubicada cada cervecería, una cervecería ubicada en sectores más cálidos requiere de menos energía térmica para los procesos de producción de la cerveza. Por otro lado, la eficiencia de los equipos y su configuración tampoco se consideran en el consumo térmico. Por ejemplo, algunas cervecerías tienen implementada la recuperación de energía térmica que disminuye el consumo térmico en el proceso de producción.

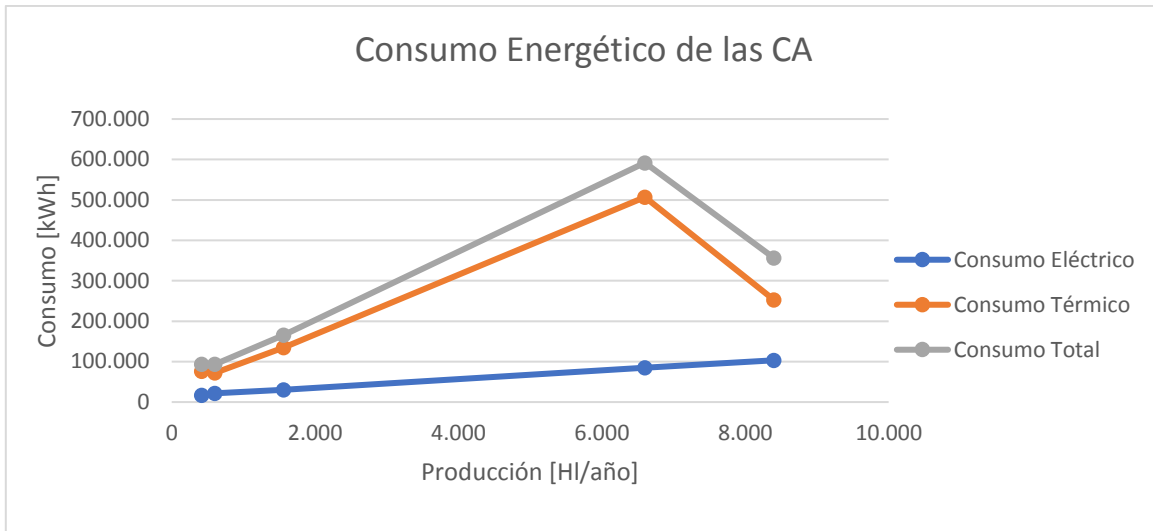


Figura 14: Consumo Energético de las Cervecerías.

En la Figura 14 se puede observar el consumo energético total de las cervecerías. Evidentemente la tendencia del consumo total es similar a la del consumo térmico. Esto se debe a que el consumo eléctrico es mucho menor al térmico, por lo cual la tendencia del consumo eléctrico no se refleja claramente en la curva del consumo total.

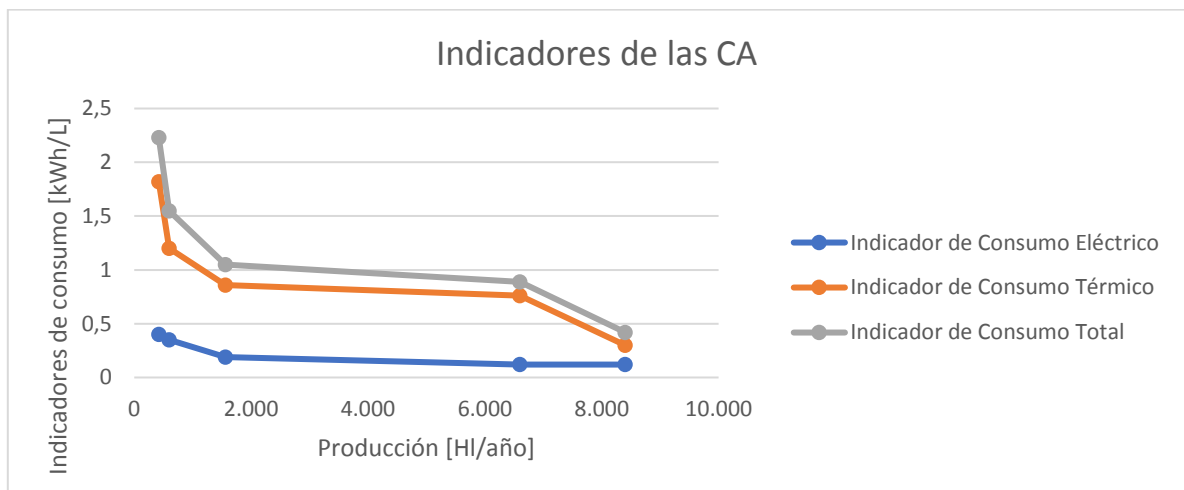


Figura 15: Indicadores Energéticos de las Cervecerías.

En la Figura 15 se puede observar gráficamente que los indicadores de consumo energético siempre disminuyen con el aumento de producción. Es decir que, al producir más cerveza, más eficiente es el uso de la energía.

6. Análisis de Oportunidades

Con la información de las cervecerías artesanales del capítulo anterior, se realiza un análisis de oportunidades de ERNC y EE. Estas opciones buscan modificar la matriz energética disminuyendo el uso de energías no renovables en un 30% y el consumo energético de la planta en un 5%.

6.1. Opciones de ERNC

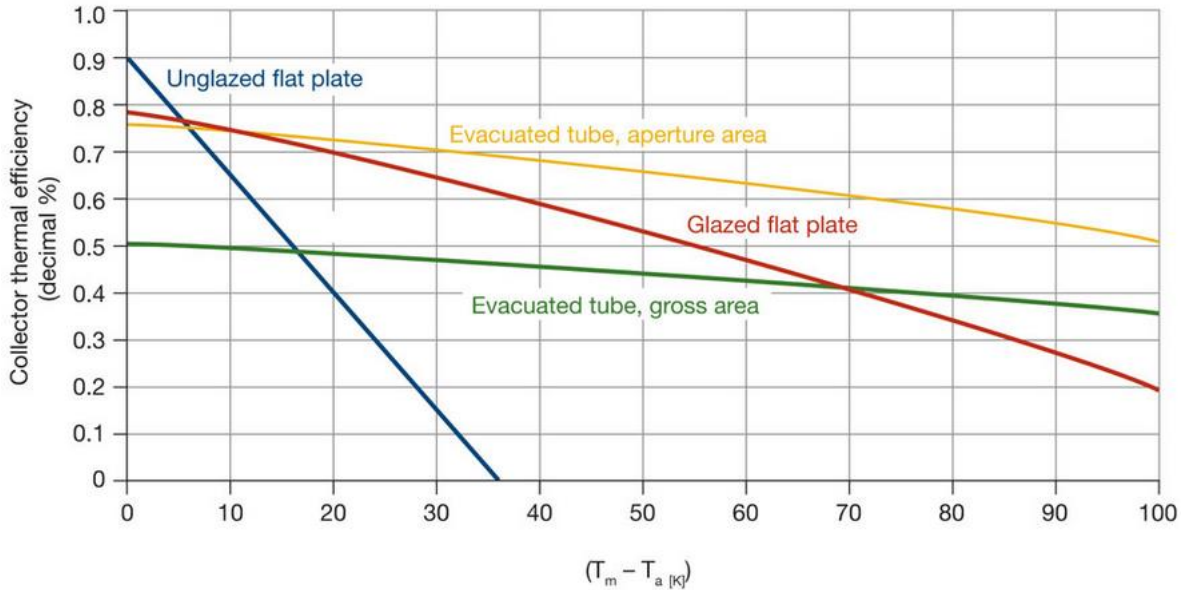
Según la caracterización de la matriz energética de la industria CA (Capítulo 5.7) la mayor parte de la energía consumida es energía térmica (sobre el 70%) y el remanente es energía eléctrica. Por esto se desarrolló una batería de opciones de ERNC para modificar la matriz energética de una forma conveniente para la industria según sus requerimientos.

6.1.1. Energía Solar

La energía solar puede ser energía solar térmica o energía solar eléctrica dependiendo de la tecnología la cual se utilice. Como la matriz energética de la industria de CA se divide en energía térmica y eléctrica, se analizan las 2 opciones tecnológicas.

En la matriz energética de la industria de CA se puede reemplazar el uso de combustibles fósiles en el proceso de maceración y cocción por energía solar térmica, dependiendo de la radiación solar recibida en el lugar donde se encuentre instalada la industria. En los colectores solares típicos un fluido circula por el sistema calentándose con la radiación solar. Este fluido se utiliza para calentar otro medio o para ser almacenado (Figura 4).

En la Figura 16 se observan curvas de eficiencia de diferentes colectores solares con respecto a la diferencia entre la temperatura alcanzada por el fluido y la temperatura ambiente. Se debe seleccionar un colector dependiendo del uso que se le da, ya que las eficiencias varían dependiendo de las pérdidas de calor ya que los sistemas pierden energía térmica por radiación, conducción y convección. En general los tubos planos son para todo clima y los de tubos son para climas fríos. Una vez determinado el tipo de tecnología se puede evaluar la cantidad de colectores, dependiendo del aporte térmico al proceso.



Inlet fluid parameter, °K; T_m equals mean collector fluid temperature; T_a equals ambient temperature.

Figura 16: Curvas de Eficiencia de Colectores [13].

La energía solar eléctrica consiste en transformar la radiación solar a través de paneles fotovoltaicos, produciendo corriente eléctrica la cual puede ser almacenada en baterías, utilizada directamente o inyectada a la red eléctrica. Los paneles fotovoltaicos tienen un voltaje de trabajo típico de 1.5V, 3V, 6V, 12V, 24V o 48V. Estos paneles son capaces de ajustar la potencia y el voltaje dependiendo de la configuración en serie o paralelo. La conexión en serie permite alcanzar el voltaje deseado y la conexión en paralelo la potencia deseada.

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos necesarios para satisfacer la potencia requerida se utiliza la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{\text{Potencia}}{R * A * \eta} \quad (2)$$

Donde R es la radiación, A es el área del panel y η es la eficiencia del panel [14].

6.1.2. Energía Eólica

La energía eólica puede generar electricidad a través de un aerogenerador, por lo cual se puede integrar a la matriz energética de la CA. Esta opción de ERNC es eficiente en sectores ventosos ya que el aerogenerador tiene una velocidad mínima de viento para poder producir energía eléctrica. Dependiendo de la localidad y la ubicación de la industria CA puede ser conveniente incorporar esta tecnología.

Utilizando herramientas computacionales como el Explorador Eólico se puede estimar la generación de energía y evaluar si es conveniente o no invertir en este tipo de tecnología. Para los sectores ventosos se podría reemplazar el uso de energía eléctrica proveniente de la red a energía eólica en un 100%.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores variando en tamaño, potencia, materiales, velocidad de partida y velocidad límite. Es necesario evaluar cada industria de CA según su requerimiento energético, espacio físico y ubicación para elegir la tecnología adecuada.

La fórmula para evaluar la potencia de una turbina eólica horizontal es la siguiente:

$$Potencia = k * C_p * 0.5 * A * \rho * V^3 \quad (3)$$

Donde la potencia se obtiene en kilowatts. C_p es el coeficiente de máxima potencia (adimensional) (depende de la turbina utilizada), ρ es la densidad del aire (lb/pie³), A es el área de barrido del rotor, V es la velocidad del viento (mph.) y K es una constante para transformar las unidades a kilowatts (0,000133).

Cabe destacar que existen límites de funcionamiento con respecto a las velocidades del viento tal como se muestra en la Figura 17. El límite superior llamado cut-out speed es una medida de seguridad, donde se detiene la hélice previniendo fallas por esfuerzos causados por las altas velocidades del viento. El límite inferior llamado cut-in speed es la velocidad límite para que el torque sea suficiente sobre las aspas para que roten y generen energía. Además, existe el rated output speed que es la velocidad nominal donde se alcanza la potencia máxima llamada rated output power.

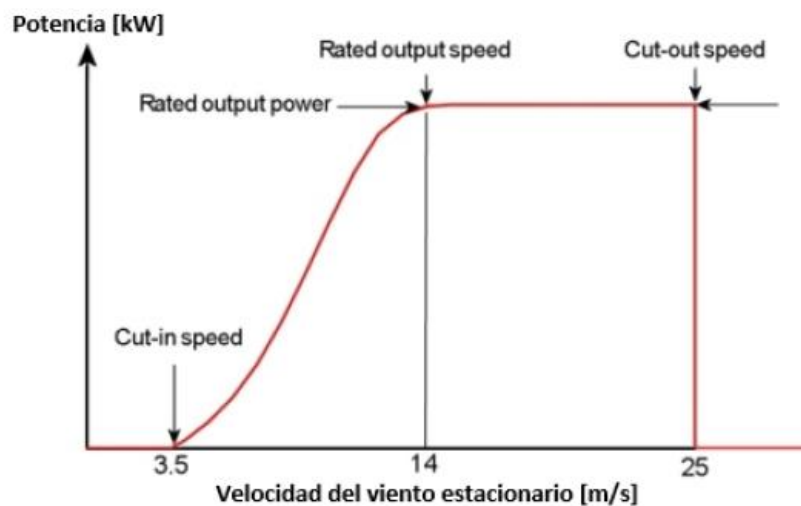


Figura 17: Curva de Potencia Típica de Turbinas Eólicas [15].

6.1.3. Energía a Partir de Biomasa

La energía a partir de biomasa es una opción para la energía térmica que requiere la matriz energética de la industria de CA. El proceso de producción de la cerveza se caracteriza por el uso de gas (GLP o GN) como combustible. La combustión de este libera energía térmica la cual es utilizada en los equipos de maceración y cocción para llevar el mosto de la cerveza a la temperatura deseada.

Existen diferentes biocombustibles los cuales podrían reemplazar el gas utilizado en los procesos de cocción y maceración de la cerveza. Los pellets y briquetas como fuente de energía a partir de biomasa tienen un gran uso en sistemas térmicos debido a su poder calorífico (Tabla 12). Existen calderas de agua caliente las cuales se alimentan de pellets y briquetas como combustibles las cuales tienen una alta eficiencia. Según las propiedades físicas de la biomasa como combustible y los actuales equipos de alta eficiencia (cerca del 90%), este cambio en la matriz energética podría ser económicamente rentable para la industria de CA y amigable con el medio ambiente.

Por otro lado, el uso de biomasa como combustible tiene residuos como las cenizas las cuales requieren de un constante retiro de material y mantenciones a los equipos. Además, los equipos necesitan una constante alimentación de combustible. En algunos casos la obtención del biocombustible puede ser compleja en lugares lejanos a los productores y con mayor costo de traslado.

Tabla 12: Propiedades de Pellets y Briquetas [16].

	Característica	Unidad	Valor
Pellets	Poder Calorífico Inferior	[kcal/kg]	4.538
	Poder Calorífico Superior	[kcal/kg]	4.500-4.800
	Humedad	[% en peso]	8-10
	Densidad Unitaria	[g/cm ³]	1,4
	Densidad aparente	[kg/m ³]	600-700
	Cenizas e Impurezas	[% en peso]	<0,4% y <5% de finos
	Emisiones CO2	[kg gas/kg comb]	1,65
	Valor Comercial	[\$CL/kg]	145-198
	Briquetas	Poder Calorífico Inferior	[kcal/kg]
Poder Calorífico Superior		[kcal/kg]	4.500 a 5.000
Humedad		[% en peso]	<12
Densidad Unitaria		[kg/m ³]	1.100-1.300
Densidad aparente		[kg/m ³]	600-900
Cenizas e Impurezas		[% en peso]	2
Emisiones CO2		[kg gas/ kg comb]	1.65
Valor Comercial		[\$CL/kg]	120-200

Otra opción de cambio en la matriz energética podría ser el uso de biogás en el proceso de maceración y cocción. Se entiende por biogás al resultado de una conversión biológica (digestión) de la biomasa en condiciones anaerobias. En la Tabla 13 se observan sus propiedades y las diferencias con el GN y GLP los cuales tienen un mayor poder calorífico. Este biogás, adecuadamente depurado [17] se puede utilizar para producir calor en hornos, estufas, secadores, calderas, calefacción u otros sistemas debidamente adaptados. Este biocombustible al ser gas al igual que los combustibles utilizados para los procesos térmicos, permite adaptar y utilizar los mismos equipos de maceración y cocción convencionales. No obstante, actualmente en Chile solo existe el abastecimiento de este combustible para el uso automotriz. Por otro lado, existe la posibilidad de un sistema de producción propio el cual plantea altos costos y además el sistema de almacenamiento es complejo y de alto valor.

Tabla 13: Propiedades de los gases combustibles [17].

	Biogás	Gas Natural	Gas Licuado de Petróleo
Composición	55 – 70% (CH ₄) 30 – 45% (CO ₂)	90% (CH ₄)	60% (C ₃ H ₈) 40% (C ₄ H ₁₀)
Contenido energético [kcal/m³]	4500-5600	9.200	22.244

6.2. Eficiencia Energética

Eficiencia energética se define como un ahorro energético. Este ahorro energético puede producirse al aumentar la eficiencia de los procesos, mejoras tecnológicas o reutilización de energía.

La industria de cervecería artesanal en general no es eficiente energéticamente, ya que tienen un mayor consumo térmico y existen pérdidas térmicas considerables en los procesos de preparación de la cerveza.

6.2.1. Aislamiento de Equipos

El aislamiento de los equipos es importante para disminuir las pérdidas térmicas al ambiente. Los equipos donde se cocina la cerveza son de acero inoxidable y están en contacto directo con el ambiente por lo cual se pueden mejorar los equipos cubriéndolos con una capa de aislante para mantener mejor las temperaturas.

Para elegir un aislante térmico es importante considerar la conductividad, capacidad calorífica, estabilidad e intervalo de temperaturas del material a elegir. Para las ollas de maceración y cocción es necesario un material que resista altas temperaturas.

Existen aislantes térmicos de origen sintético, vegetal y mineral. Los aislantes sintéticos están compuestos por materiales sintéticos como el plástico o polímeros provenientes del petróleo. Los aislantes naturales o aislantes ecológicos son reciclables y biodegradables y se caracterizan por no contener sustancias ni aditivos. Los aislantes minerales están formados por fibras de origen mineral y se caracterizan por su buena protección contra el fuego.

Tabla 14: Aislantes térmicos [18] [19].

Aislante	Poliestireno expandido (EPS)	Poliestireno extruido (XPS)	Corcho (ICB)	Lana de roca (SW)	Lana de vidrio (GW)
Origen	Sintético	Sintético	Vegetal	Mineral	Mineral
Conductividad	0,029 - 0,046	0,029 - 0,039	0,034 - 0,1	0,03 - 0,05	0,03 - 0,05
Precio [CLP/m ²]	8.757	8.134	11.375	10.388	4.340
Resistencia compresión [kPa]	300	200	180	68	12
Combustibilidad	E - F	E	B - E	A - B	A - B

En la Tabla 14 se pueden observar distintos aislantes térmicos con sus propiedades y costos. La combustibilidad está clasificada según la norma UNE-EN 13501-1:2002, donde la clasificación es la siguiente:

- A1: No Combustible.
- A2: No Combustible.
- B: Combustible. Contribución muy limitada al fuego.
- C: Combustible. Contribución limitada al fuego.
- D: Combustible. Contribución media al fuego.
- E: Combustible. Contribución alta al fuego.
- F: Sin clasificar.

Los equipos que se desean aislar trabajan a altas temperaturas y pueden estar con contacto con el fuego. Debido a estos los mejores aislantes son los de origen mineral ya que son no combustibles.

6.2.2. Recuperación de Energía Térmica en el Enfriamiento

Por otra parte, existe energía térmica desperdiciada al enfriar el mosto luego de la cocción. Esta energía puede ser recuperada y algunas cervecerías han implementado un sistema para la recuperación de esa energía como se puede

observar en la Figura 11. Este sistema es un bypass que redirecciona el agua que se utiliza para el enfriamiento.

Esta recuperación de energía consiste en utilizar la energía térmica del agua que pasa por el intercambiador de calor para el proceso de enfriamiento del mosto. Luego de que el agua pasa por el enfriador y aumenta su energía térmica es almacenada en la olla de maceración u olla de precalentamiento para aprovechar esa energía térmica en la siguiente maceración.

6.3. Selección de Alternativas

Según los requerimientos energéticos de la industria CA y la factibilidad de aplicación de las diferentes tecnologías planteadas, se seleccionan las opciones más viables.

La energía solar tiene gran potencial en Chile (Figura 5) y actualmente es accesible implementar paneles solares térmicos y paneles fotovoltaicos. Por esta razón, se selecciona la energía solar como una potencial alternativa para implementación de ERNC a la industria CA.

En Chile la implementación de la energía eólica va en crecimiento debido a que existen muchas zonas con vientos a altas velocidades como se puede observar en la Figura 6. Debido a esto, se selecciona la energía eólica como una posible alternativa para implementar en la matriz energética de la industria de CA.

Actualmente en Chile el uso de energía a partir de biomasa está en una etapa de desarrollo por lo cual el uso de biocombustibles es de difícil acceso y tiene altos costos asociados. Por esta razón, momentáneamente se descarta el uso de energía a partir de biomasa en la industria CA.

La mayor parte de la matriz energética de la industria de CA corresponde a energía térmica. Por eso, el aislamiento de equipos para aumentar la eficiencia energética es una opción viable ya que es fácil de aplicar, económica y eficaz.

La recuperación de energía térmica es una buena alternativa ya que disminuye las pérdidas térmicas en el proceso de enfriamiento y además es fácil de implementar en la planta. Por esta razón se selecciona como una alternativa viable para la industria de CA.

7. Análisis de Eficiencia Energética

El análisis de eficiencia energética busca cuantificar el ahorro energético que produce cada una de las alternativas tecnológicas y la reducción del uso de energías convencionales.

En este capítulo se desarrolla cada una de las alternativas de aplicación de ERNC y EE seleccionadas en el capítulo anterior.

7.1. Energía Solar

En esta sección se muestra información sobre el recurso solar de dos ciudades en Chile. Se utiliza el Explorador Solar desarrollado por el Ministerio de Energía, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile [20].

Para estudiar la eficiencia de la energía solar se escogieron las ciudades de Valdivia y Vicuña. En ambas ciudades existen CA y al estar en distintos puntos geográficos del país presentan diferentes condiciones ambientales que permiten comparar y estimar lo conveniente de cada tecnología, teniendo como datos referenciales la radiación de cada lugar.

Tabla 15: Sitios Escogidos para el Estudio.

Lugar	Latitud	Longitud	Elevación
Valdivia	39.8281 °S	73.2353 °O	16 m
Vicuña	30.0353 °S	70.7054 °O	624 m



Figura 18: Ubicación de las Ciudades Estudiadas [21].

Las siguientes Tablas y Gráficos obtenidos a través del Explorador Solar muestran los promedios de las radiaciones sobre la horizontal y un plano orientado hacia el norte con una inclinación igual a la latitud del lugar (orientación que maximiza la radiación total anual).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	6.02	4.93	3.41	1.76	0.96	0.66	0.78	1.21	2.47	3.16	4.32	5.41
Difusa	1.52	1.39	1.27	1.07	0.8	0.71	0.77	1.0	1.3	1.66	1.82	1.78
Global	7.54	6.32	4.68	2.83	1.76	1.37	1.55	2.21	3.77	4.82	6.14	7.19

(a) Radiación incidente en el plano horizontal

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	5.23	4.97	4.28	2.85	2.03	1.64	1.78	2.16	3.38	3.42	3.91	4.49
Difusa	1.34	1.23	1.12	0.94	0.71	0.63	0.68	0.88	1.15	1.47	1.61	1.57
Suelo	0.21	0.18	0.13	0.08	0.05	0.04	0.04	0.06	0.11	0.14	0.17	0.2
Global	6.78	6.38	5.53	3.87	2.79	2.31	2.5	3.1	4.64	5.03	5.69	6.26

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

Figura 19: Promedio Mensual de la Insolación Diaria de Valdivia en unidades de $[kWh/m^2/día]$ [22].

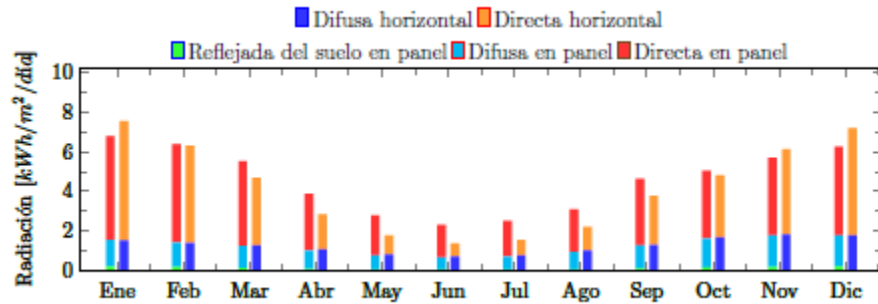


Figura 20: Promedio Mensual de la Insolación Diaria Incidente en un Plano Horizontal y en un Plano Inclinado, separada en sus Componentes Directa, Difusa y Reflejada del Suelo, en la Ciudad de Valdivia [22].

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	7.81	7.14	5.96	4.36	3.04	2.59	2.83	3.52	4.81	6.05	7.41	8.1
Difusa	1.03	0.94	0.85	0.83	0.76	0.69	0.72	0.89	1.04	1.19	1.09	1.01
Global	8.84	8.08	6.81	5.19	3.8	3.28	3.55	4.41	5.85	7.24	8.5	9.11

(a) Radiación incidente en el plano horizontal

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	6.8	6.95	6.73	5.81	4.67	4.31	4.49	4.93	5.75	6.17	6.67	6.84
Difusa	0.96	0.88	0.79	0.77	0.71	0.64	0.67	0.83	0.97	1.11	1.01	0.95
Suelo	0.14	0.13	0.11	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.12	0.14	0.15
Global	7.9	7.96	7.63	6.66	5.44	5.0	5.22	5.83	6.81	7.4	7.82	7.94

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

Figura 21: Promedio Mensual de la Insolación Diaria de Vicuña en unidades de $[kWh/m^2/día]$ [22].

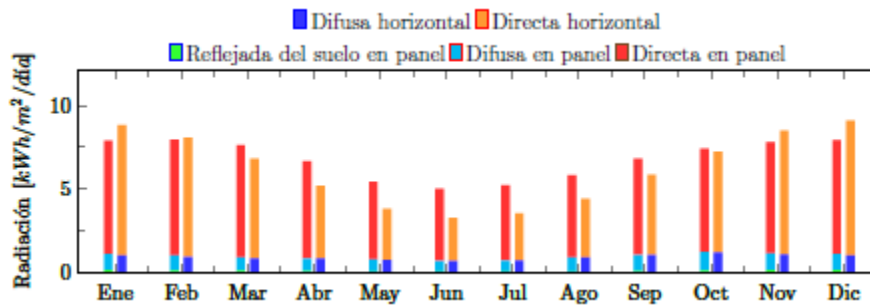


Figura 22: Promedio Mensual de la Insolación Diaria Incidente en un Plano Horizontal y en un Plano Inclinado, separada en sus Componentes Directa, Difusa y Reflejada del Suelo, en la Ciudad de Vicuña [22].

7.1.1. Energía Solar Fotovoltaica

La capacidad de generación de energía eléctrica depende de la radiación, las características del sistema fotovoltaico, las condiciones ambientales y la superficie fotovoltaica instalada.

En la Tabla 16 se observan las características del sistema fotovoltaico. La inclinación y azimut que maximizan la generación de energía eléctrica fueron calculados con el Explorador Solar. Por otro lado, los valores del coeficiente de temperatura, la eficiencia del inversor y las pérdidas son valores referenciales típicos de los paneles fotovoltaicos [22].

Tabla 16: Características del Sistema Fotovoltaico.

	Valdivia	Vicuña
Configuración	Fijo Inclinado	
Montaje	Open Rack Cell Glassback	
Inclinación	31°	27°
Azimut	-14°	-5°
Coef. Temperatura	-0.45 [%/°C]	
Ef. Inversor	96 [%]	
Pérdidas	14 [%]	

Utilizando la radiación y las características del sistema fotovoltaico, se calculan los resultados de la generación fotovoltaica para una superficie instalada de 10, 20, 30, 50 y 80 m². La Figura 23 es un ejemplo gráfico de los resultados de la generación eléctrica anual y diaria con una superficie de 10 m² en la ciudad de Valdivia. Los gráficos de los resultados de Vicuña y Valdivia para las diferentes superficies se adjuntan en el Anexo 1.

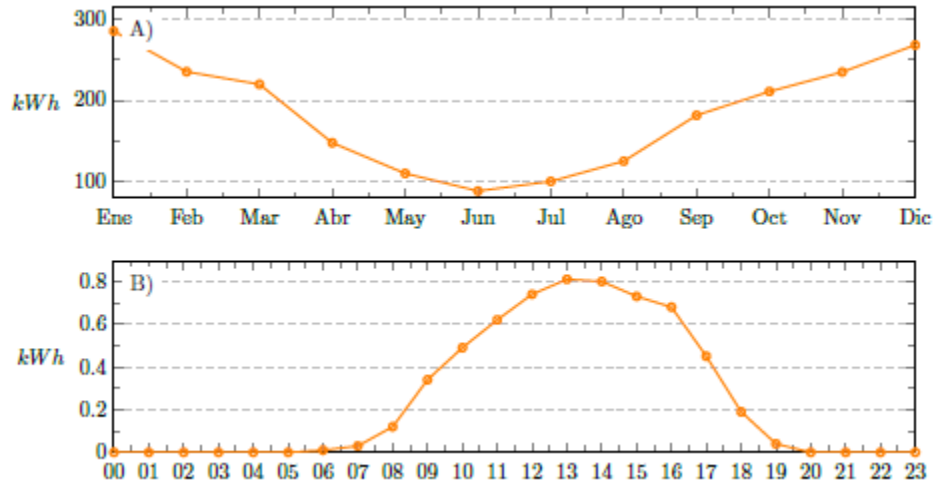


Figura 23: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 10 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

La Tabla 17 resume los resultados de la generación eléctrica total anual y diaria según la superficie y la ciudad. En la Figura 24 se puede observar gráficamente la generación fotovoltaica anual.

Tabla 17: Resultados de Generación Fotovoltaica.

Ciudad	Generación fotovoltaica	Superficie instalada					Unidad
		10 m ²	20 m ²	30 m ²	50 m ²	80 m ²	
Valdivia	Total diario	6	12	18	30	48	kWh
	Total Anual	2,21	4,41	6,62	11,04	17,66	MWh
	Factor de planta	15	15	15	15	15	%
Vicuña	Total diario	9	17	26	43	68	kWh
	Total Anual	3,1	6,21	9,32	15,53	24,84	MWh
	Factor de planta	21	21	21	21	21	%

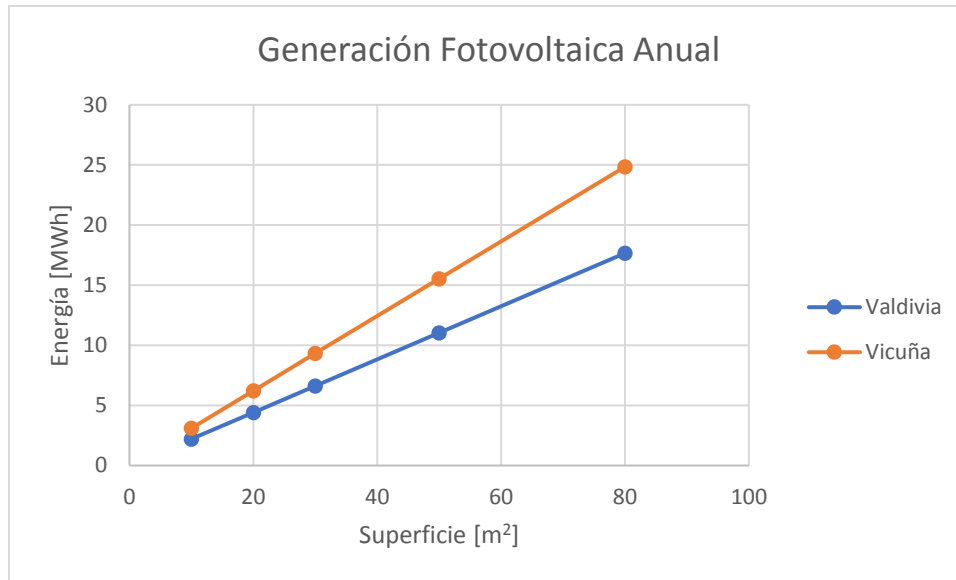


Figura 24: Generación Eléctrica Anual.

Utilizando los datos de generación eléctrica según las diferentes superficies instaladas en cada ciudad, se calcula el porcentaje de contribución de energía para cada cervecería visitada, en el caso de estar en las ciudades estudiadas, con el fin de evaluar el aporte energético.

Tabla 18: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Valdivia.

Cervecería	Superficie instalada					Unidad
	10 m ²	20 m ²	30 m ²	50 m ²	80 m ²	
Tubingüer	2,14	4,27	6,41	10,69	17,10	%
Coda	7,27	14,52	21,79	36,34	58,13	%
Luthier	10,39	20,74	31,13	51,91	83,04	%
Cuello Negro	2,60	5,18	7,78	12,98	20,76	%
Selva Fría	12,94	25,83	38,77	64,66	103,43	%

Tabla 19: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Vicuña.

Cervecería	Superficie instalada					Unidad
	10 m ²	20 m ²	30 m ²	50 m ²	80 m ²	
Tubingüer	3,00	6,01	9,02	15,03	24,05	%
Coda	10,20	20,44	30,68	51,12	81,76	%
Luthier	14,58	29,20	43,82	73,02	116,80	%
Cuello Negro	3,64	7,30	10,96	18,26	29,20	%
Selva Fría	18,16	36,37	54,59	90,96	145,48	%

De las Tablas 18 y 19 se puede observar que existen diferentes configuraciones, las cuales se adecúan al requerimiento energético que se espera obtener. Con la implementación de esta tecnología la matriz energética de las CA puede cambiar la energía eléctrica a fotovoltaica parcial o totalmente.

7.1.2. Energía Solar Térmica

La capacidad de generación de energía térmica depende de la radiación, las condiciones ambientales, las características del sistema y la superficie instalada.

Las Tablas y Gráficos obtenidos a través del Explorador Solar (Figura 19, 20, 21 y 22) muestran los promedios de las radiaciones sobre la horizontal y un plano orientado hacia el norte con una inclinación igual a la latitud del lugar.

En la Tabla 20 se observan las características del sistema solar térmico. La inclinación y azimut que maximizan la generación de energía eléctrica fueron calculados con el Explorador Solar. Por otro lado, los valores del coeficiente de temperatura, la eficiencia del inversor y las pérdidas son valores referenciales típicos de los colectores solares [22].

Tabla 20: Características del Sistema Solar Térmico.

	Valdivia	Vicuña
Configuración	Tubos al vacío	
Inclinación	30°	30°
Azimut	-15°	-5°
Factor Global de Pérdidas	2 [W/m ² K]	
Ef. Óptica	70 [%]	
Pérdidas por sombras	0 [%]	

Se calcularon los resultados de la generación térmica para una superficie instalada de 10, 20, 30 y 40 m² (Tabla 21).

Tabla 21: Resultados de Generación Térmica.

Ciudad	Generación Térmica	Superficie instalada				Unidad
		10 m ²	20 m ²	30 m ²	40 m ²	
Valdivia	Total Anual	9,49	17,68	24,68	30,60	MWh
	Almacenamiento	1000	2000	3000	4000	L
Vicuña	Total Anual	14,16	25,77	35,13	43,01	MWh
	Almacenamiento	1000	2000	3000	4000	L

En las siguientes Figuras se grafican los resultados de la generación térmica mensual para las diferentes superficies instaladas.

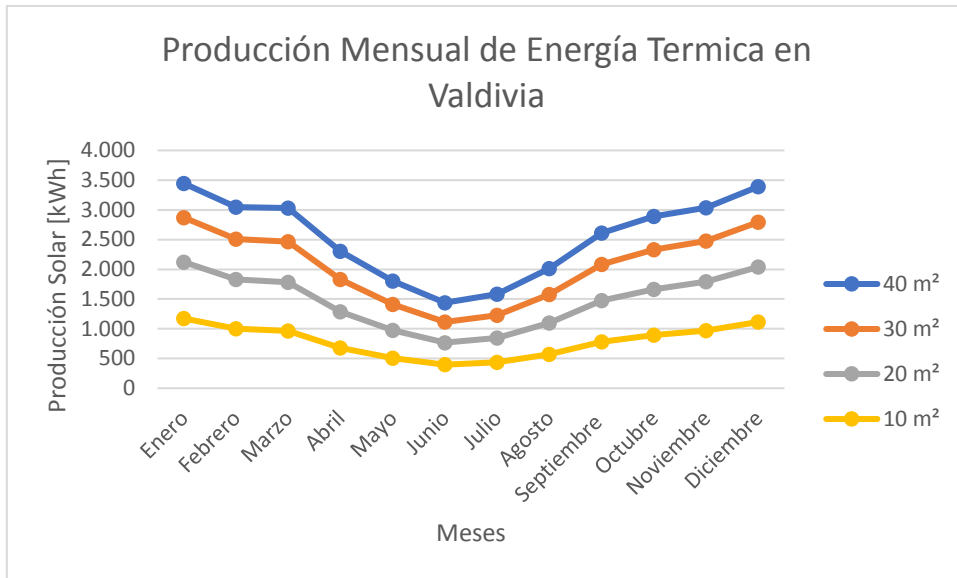


Figura 25: Generación de Energía Térmica en la Ciudad de Valdivia con diferentes Superficies de Colectores Térmicos Instalados.

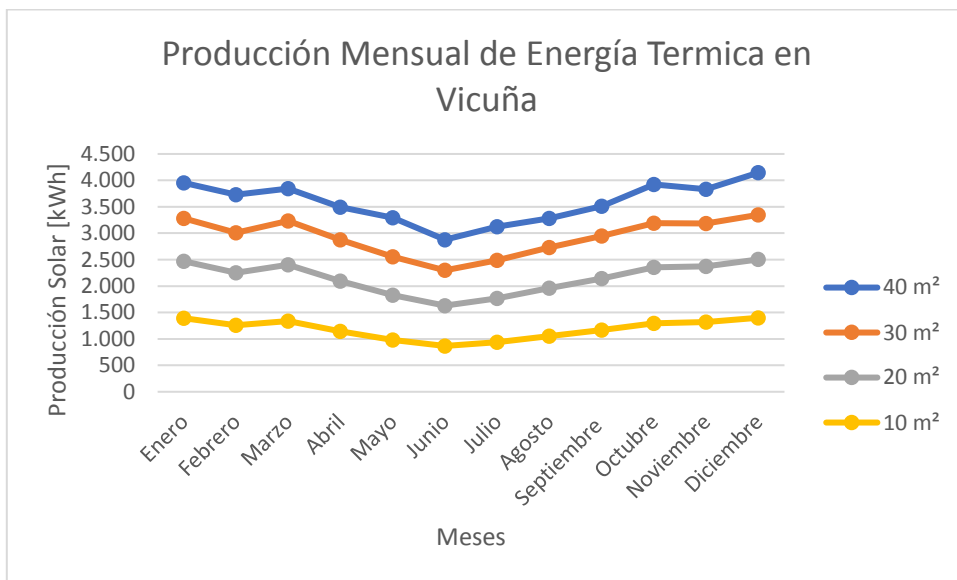


Figura 26: Generación de Energía Térmica en la Ciudad de Vicuña con diferentes Superficies de Colectores Térmicos Instalados.

Utilizando los datos de generación térmica según las diferentes superficies instaladas en cada ciudad, se calcula el porcentaje de contribución de energía para cada cervecería visitada, en el caso de estar en las ciudades estudiadas, con el fin de evaluar el aporte energético.

Tabla 22: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Valdivia.

Cervecería	Superficie instalada				Unidad
	10 m ²	20 m ²	30 m ²	40 m ²	
Tubingüer	3,75	6,99	9,76	12,10	%
Coda	7,03	13,10	18,29	22,68	%
Luthier	13,18	24,55	34,27	42,49	%
Cuello Negro	1,87	3,49	4,87	6,04	%
Selva Fría	12,39	23,08	32,22	39,95	%

Tabla 23: Porcentaje de contribución eléctrica para cada cervecería en el caso de estar en la ciudad de Vicuña.

Cervecería	Superficie instalada				Unidad
	10 m ²	20 m ²	30 m ²	40 m ²	
Tubingüer	5,60	10,19	13,89	17,01	%
Coda	10,50	19,10	26,04	31,88	%
Luthier	19,66	35,78	48,78	59,72	%
Cuello Negro	2,79	5,08	6,93	8,49	%
Selva Fría	18,49	33,65	45,87	56,16	%

De las Tablas 22 y 23 se puede observar que existen diferentes configuraciones, las cuales se adecuan al requerimiento energético que se espera obtener. Con la implementación de esta tecnología la matriz energética de las CA puede disminuir el uso de gas parcialmente.

7.2. Energía Eólica

En esta sección se desarrolla el estudio eólico de 2 ciudades diferentes. Para realizar el estudio se necesita la información del viento a diferentes alturas. Se utiliza el Explorador Eólico, desarrollado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, para obtener la información sobre el recurso eólico de cada ciudad.

Los sitios escogidos para evaluar la eficiencia de la energía eólica son Valdivia y Vicuña (Tabla 15) (Figura 18). Se evalúan 2 ciudades con diferente viento, de este modo se podrá comparar y estimar lo conveniente de cada tecnología.

La Figura 27 es un ejemplo gráfico de los resultados obtenidos de la velocidad del viento, a una altura de 46m, en la ciudad de Valdivia. Los gráficos de los resultados de Vicuña y Valdivia para las diferentes alturas se adjuntan en el Anexo 2.

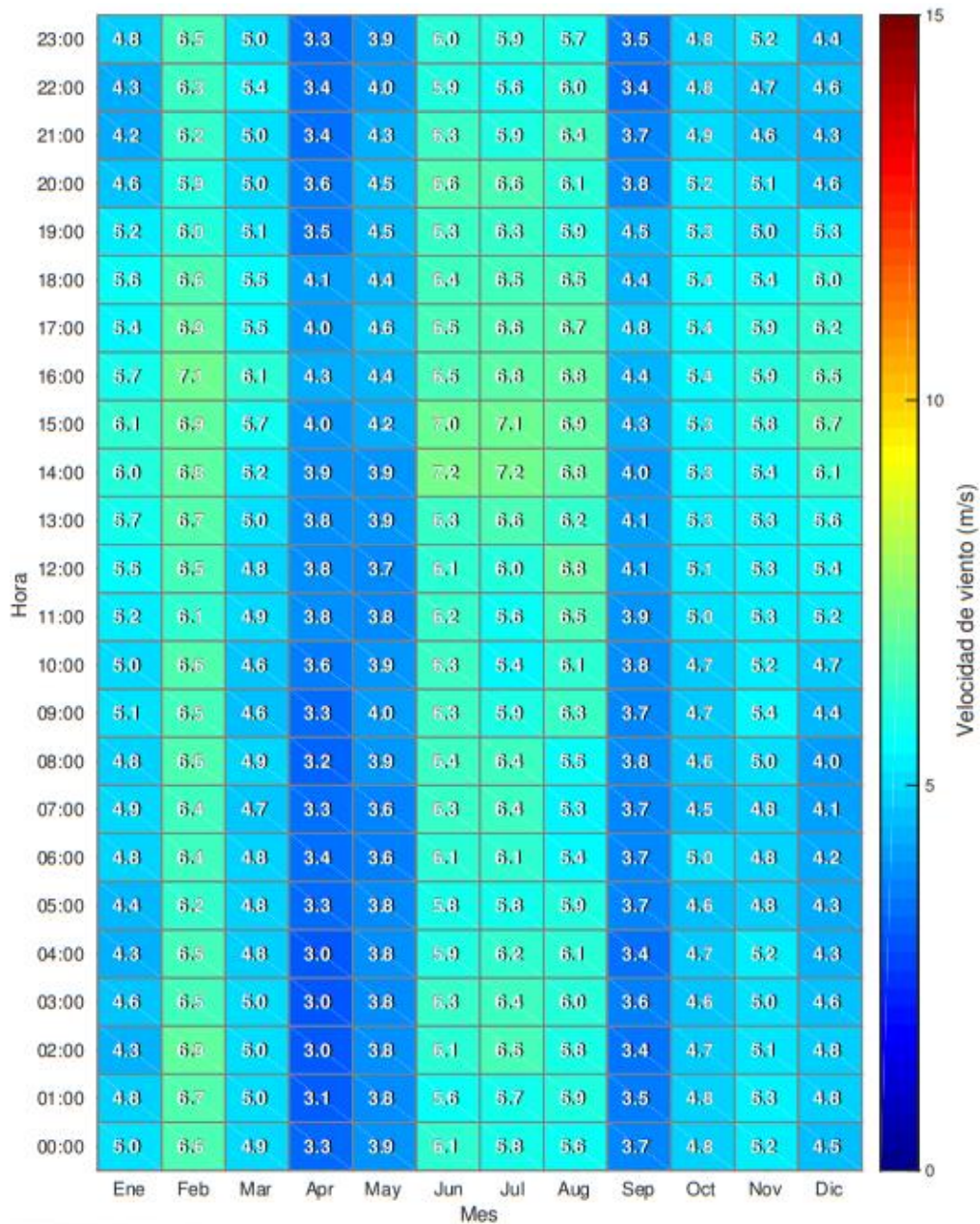


Figura 27: Velocidad Promedio de Viento en Valdivia a 46 metros, según la Hora del Día y Mes del Año [22].

Inicialmente se preseleccionan diferentes opciones de aerogeneradores según altura, diámetro de turbina, potencia, velocidad mínima de viento y el costo del aerogenerador. Luego de la preselección de opciones, se evaluaron 21 diferentes aerogeneradores para cada ciudad (Tabla 24). La potencia generada por cada uno de los aerogeneradores es calculada con la velocidad del viento a la altura de la hélice (según altura recomendada por el fabricante).

Tabla 24: Aerogeneradores [10].

	Potencia	Diámetro turbina	Altura	Costo
Wind Matic WM 17s	95 kW	17.00 metros	25 metros	140.315 USD
Wind Matic WM 15s	60 kW	15.50 metros	25 metros	88.620 USD
Southwest Whisper 500	3 kW	4.50 metros	15 metros	4.431 USD
Raum 3.5 kW	3.5 kW	4.00 metros	15 metros	5.170 USD
Proven 15 kW	15 kW	9.00 metros	15 metros	22.155 USD
Proven 6 kW	6 kW	5.50 metros	15 metros	8.862 USD
Proven 2,5 kW	2.5 kW	3.5 metros	15 metros	3.693 USD
PowerWorks WEG MS-2	250 kW	25.00 metros	25 metros	369.250 USD
PowerWorks KCS56	100 kW	18.00 metros	35 metros	147.700 USD
Northern Power 100-24	100 kW	24.00 metros	35 metros	147.700 USD
Northern Power 100-21	100 kW	21.00 metros	35 metros	147.700 USD
Northern Power 100 ARTIC	100 kW	21.00 metros	35 metros	147.700 USD
Northern Power 60-23	60 kW	23.00 metros	35 metros	88.620 USD
Lagerwey FB18	80 kW	18.00 metros	35 metros	118.160 USD
Evance R9000	5 kW	5.40 metros	15 metros	7.385 USD
Eocycle EO 25/12	25 kW	11.70 metros	35 metros	36.925 USD
Endurance G-3120	35 kW	19.20 metros	35 metros	51.695 USD
Endurance E-3120	55 kW	19.20 metros	35 metros	81.235 USD
Enair 160	7.5 kW	6.10 metros	15 metros	11.077 USD
Bergey Excel-s	10 kW	6.70 metros	35 metros	14.770 USD
Bergey Excel-r	7.5 kW	6.70 metros	35 metros	11.077 USD

Tabla 25: Potencia Generada.

Aerogenerador	Ciudad	Potencia generada [MWh]
Wind Matic WM 17s	Valdivia	81,5304
	Vicuña	12,5208
Wind Matic WM 15s	Valdivia	59,5008
	Vicuña	8,1264
Southwest Whisper 500	Valdivia	3,66
	Vicuña	0,5136
Raum 3.5 kW	Valdivia	3,1488
	Vicuña	0,5136
Proven 15 kW	Valdivia	31,2336
	Vicuña	6,9504
Proven 6 kW	Valdivia	6,0024
	Vicuña	0,9504
Proven 2,5 kW	Valdivia	5,268
	Vicuña	1,392
PowerWorks WEG MS-2	Valdivia	137,208
	Vicuña	8,652
PowerWorks KCS56	Valdivia	135,408
	Vicuña	18,012
Northern Power 100-24	Valdivia	176,3856
	Vicuña	34,98
Northern Power 100-21	Valdivia	153,8184
	Vicuña	29,712
Northern Power 100 ARTIC	Valdivia	152,8656
	Vicuña	29,1264
Northern Power 60-23	Valdivia	145,1424
	Vicuña	32,8512
Lagerwey FB18	Valdivia	109,584
	Vicuña	19,6128
Evance R9000	Valdivia	5,052
	Vicuña	0,7344
Eocycle EO 25/12	Valdivia	52,1328
	Vicuña	10,536
Endurance G-3120	Valdivia	92,6232
	Vicuña	20,4888
Endurance E-3120	Valdivia	123,7872
	Vicuña	24,8064
Enair 16	Valdivia	11,9256
	Vicuña	2,7096
Bergey Excel-s	Valdivia	14,1936
	Vicuña	2,7792
Bergey Excel-r	Valdivia	13,308
	Vicuña	2,3424

En la Tabla 25 se puede observar la potencia estimada que se genera anualmente por cada aerogenerador según las condiciones de cada ciudad. De estos aerogeneradores se seleccionan 6, los cuales son los más eficientes dentro de diferentes rangos de potencia. En las Figuras 28 y 29 se observa la generación de energía mensual de los aerogeneradores seleccionados.

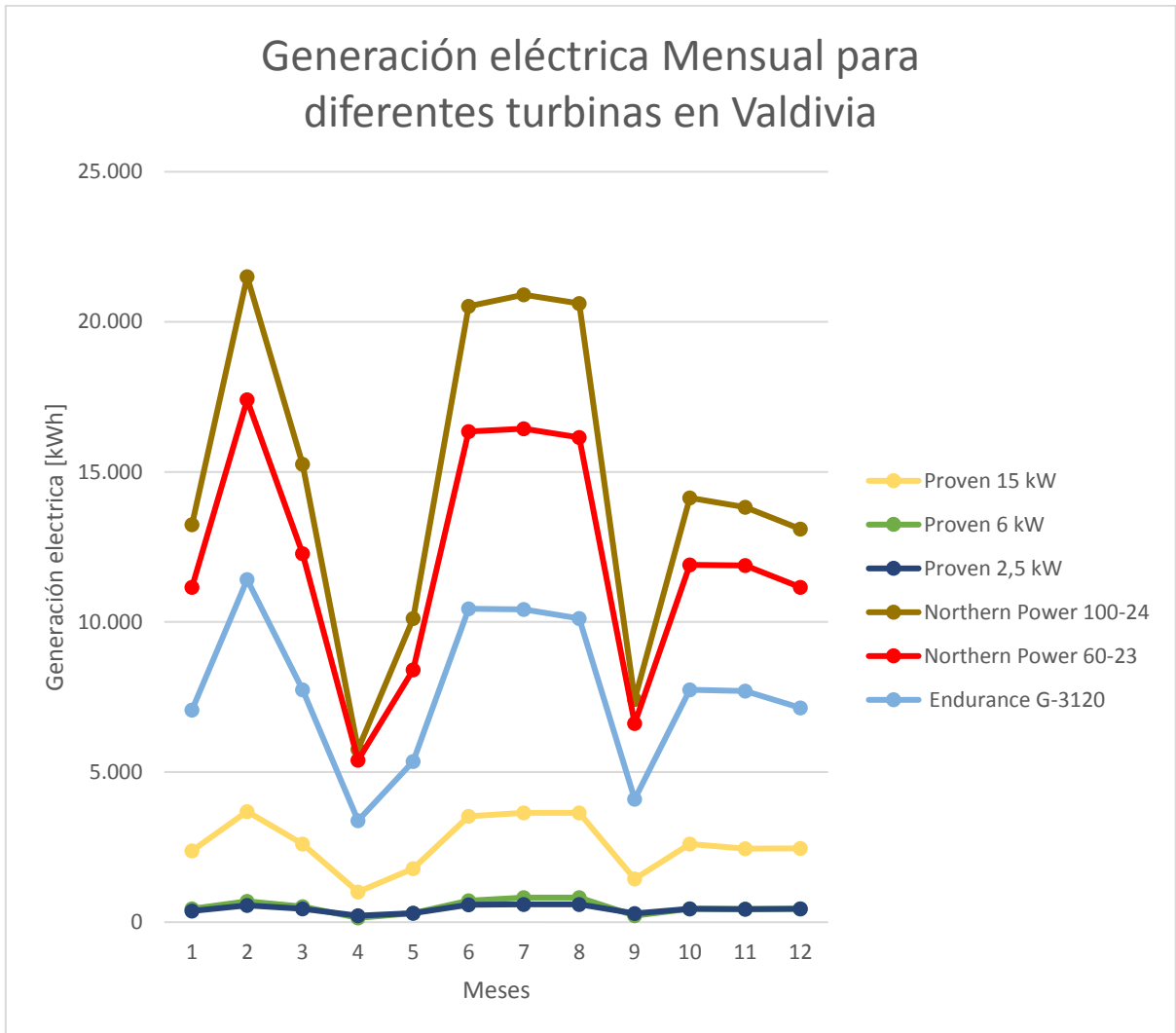


Figura 28: Generación Eléctrica Promedio Mensual por Diferentes Aerogeneradores en Valdivia [10].

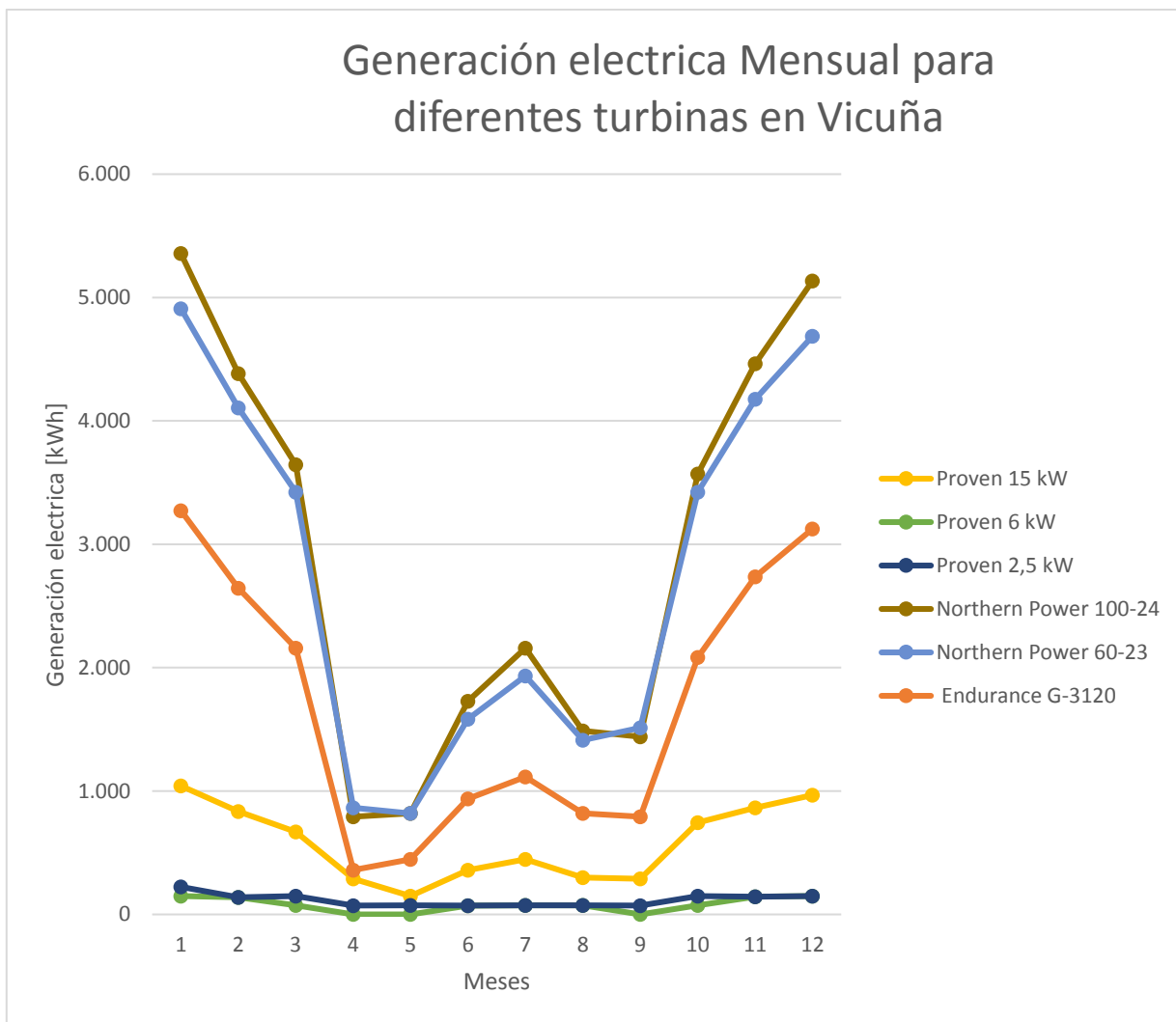


Figura 29: Generación Eléctrica Promedio Mensual por Diferentes Aerogeneradores en Vicuña [10].

Tabla 26: Porcentaje de Contribución Eléctrica para cada Cervecería en el caso de estar en la Ciudad de Valdivia.

	Proven 2,5 kW	Proven 6 kW	Proven 15 kW	Endurance G-3120	Northern Power 60-23	Northern Power 100-24	
Tubingüer	5,10	5,81	30,24	89,67	140,51	-	%
Coda	17,34	19,76	102,81	-	-	-	%
Luthier	24,77	28,22	146,86	-	-	-	%
Cuello Negro	6,19	7,06	36,72	-	-	-	%
Selva Fría	30,85	35,16	-	-	-	-	%

Tabla 27: Porcentaje de Contribución Eléctrica para cada Cervecería en el caso de estar en la Ciudad de Vicuña.

	Proven 2,5 kW	Proven 6 kW	Proven 15 kW	Endurance G-3120	Northern Power 60-23	Northern Power 100-24	
Tubingüer	1,35	0,92	6,73	19,84	31,80	33,86	%
Coda	4,58	3,13	22,88	67,44	108,13	115,14	%
Luthier	6,55	4,47	32,68	96,34	-	-	%
Cuello Negro	1,64	1,12	8,17	24,09	38,62	41,12	%
Selva Fría	8,15	5,57	40,71	120,00	-	-	%

De las Tablas 26 y 27 se puede observar que existen diferentes aerogeneradores, los cuales se adecuan al requerimiento energético que se espera obtener. Con la implementación de esta tecnología la matriz energética de las CA puede cambiar la energía eléctrica a eólica parcial o totalmente, dependiendo de la cantidad de viento en la ciudad.

7.3. Aislamiento de Equipos

En las visitas industriales se observó una gran pérdida térmica de los equipos hacia el medio ambiente. Debido a esto se analiza el ahorro térmico que se podría generar aislando térmicamente los equipos que trabajan a altas temperaturas.

Dentro de los aislantes de origen mineral de posible aplicación esta la lana de roca y la lana de vidrio. Estos aislantes tienen características similares, sus principales diferencias son la resistencia a la compresión y el costo. La resistencia a la compresión no es relevante para el caso ya que no se utiliza de forma comprimida. Como se puede observar en la Tabla 14, la diferencia de precio de estos aislantes es considerable, por lo que se escoge la lana de vidrio para aislar los equipos ya que es de menor costo. Por otro parte se decide recubrir la lana de vidrio con una capa de aluminio (de grosor despreciable) la cual reduce la emisividad y por lo tanto las pérdidas de transferencia de calor por radiación.

Para analizar la eficiencia energética del aislamiento de los equipos es necesario calcular las pérdidas térmicas de los equipos sin aislación y luego compararlo con las pérdidas térmicas con aislación. Los equipos tienen pérdidas por convección natural y por radiación.

Las pérdidas por convección se calculan con las siguientes correlaciones [23]:

$$Q_{conv} = h * A * (\Delta T) \quad (4)$$

Donde Q_{conv} son las pérdidas por convección por flujo externo, el cual se calcula a partir de la superficie A , el coeficiente promedio de convección h y la diferencia de temperatura ΔT entre la superficie T_s y el ambiente T_a . El coeficiente promedio de convección h se calcula a partir de la conductividad térmica k del aire, el número de Nusselt Nu y el alto L del estanque.

$$h = \frac{k * Nu}{L} \quad (5)$$

El número de Nusselt Nu se puede calcular de una correlación la cual se puede aplicar para todo intervalo de Rayleigh Ra .

$$Nu = \left(0.825 + \frac{0.387 * Ra^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right)^2 \quad (6)$$

Rayleigh Ra se calcula a partir de los números de Grashof Gr y Prandtl Pr .

$$Ra = Gr * Pr \quad (7)$$

Grashof Gr se calcula con g la aceleración de gravedad, el coeficiente de expansión β , la diferencia de temperatura, el alto del estanque y la viscosidad cinemática ν .

$$Gr = \frac{g * \beta * (\Delta T) * L^3}{\nu^2} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{1}{\frac{T_a + T_s}{2}} \quad (9)$$

La viscosidad cinemática, el número de Prandtl y la conductividad térmica se extraen de la Tabla de propiedades termofísicas del aire a presión atmosférica [23]. En esta Tabla las propiedades se obtienen a la temperatura promedio entre la temperatura superficial y la temperatura ambiente.

Las pérdidas por radiación se calculan con las siguientes correlaciones:

$$Q_{rad} = \varepsilon * A * \sigma * (T_s^4 - T_a^4) \quad (10)$$

Donde Q_{rad} son pérdidas por radiación, estas se calculan con la emisividad del material ε , la superficie, la constante de Stefan-Boltzmann σ y las temperaturas.

Una vez aislados los equipos es necesario calcular las nuevas pérdidas térmicas. El incorporar el aislante térmico significa que se agrega una resistencia a la transferencia de calor.

$$Q_{conv} = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (11)$$

Donde R_{total} es la suma de la resistencia del aislante $R_{aislante}$ con la resistencia del aire al ambiente $R_{ambiente}$.

$$R_{aislante} = \frac{L_{aislante}}{k_{aislante} * A} \quad (12)$$

Donde $L_{aislante}$ es el grosor de la pared de aislante y $k_{aislante}$ es la conductividad térmica del aislante

$$R_{ambiente} = \frac{1}{h * A} \quad (13)$$

El coeficiente promedio de convección h no varia con respecto al cálculo sin aislamiento.

Las nuevas perdidas por radiación se calculan de la misma ecuación 10 cambiando la nueva temperatura superficial a la temperatura externa de la lana y la emisividad correspondiente al aislante. Esta se calcula de la siguiente ecuación:

$$T_{ext,lana} = T_s - (Q_{conv} * R_{aislante}) \quad (14)$$

Para calcular la disminución de las perdidas consideramos los procesos de maceración y cocción típicos a una temperatura ambiente de 20°C. Se utilizan 2 tipos de ollas estándar de 1500L y 500L. En las siguientes Tablas se observan las condiciones y propiedades utilizadas para calcular las perdidas en el proceso de maceración y de cocción.

Tabla 28: Condiciones de operación y datos del equipo.

	Maceración		Cocción		Unidades
Temperatura del proceso	65		100		°C
Temperatura ambiente	20		20		°C
Tiempo del proceso	3600		3600		s
Capacidad del equipo	1500	500	1500	500	L
Diámetro del equipo	1,2	0,8	1,2	0,8	m
Alto del equipo (L)	1,4	1,1	1,4	1,1	m
Emisividad equipo (ϵ)	0,8				-

Tabla 29: Propiedades del Material Aislante.

	Valor	Unidades
Conductividad ($k_{aislante}$)	0,036	W/m°C
Emisividad ($\epsilon_{aislante}$)	0,05	-
Grosor ($L_{aislante}$)	0,1	m

Tabla 30: Propiedades Termofísicas del Aire a Presión Atmosférica.

Temperatura ($\frac{T_a+T_s}{2}$)	60	42,5	°C
Conductividad (k)	0,026805	0,02808	W/m°C
Viscosidad cinemática (v)	0,00001726	0,00001896	m ² /s
Prandtl (Pr)	0,703	0,705	-

Finalmente resolviendo las ecuaciones con las condiciones y propiedades del proceso se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 31: Perdidas Térmicas en una Olla de 1500L.

	Perdidas sin aislación	Perdidas con aislación	Unidad	% de disminución de perdidas
Maceración	1,462297184	0,0808053	kWh	94,47
Cocción	3,075632311	0,148201613	kWh	95,18

Tabla 32: Perdidas Térmicas en una Olla de 500L.

	Perdidas sin aislación	Perdidas con aislación	Unidad	% de disminución de perdidas
Maceración	0,768378246	0,042342057	kWh	94,49
Cocción	1,61572054	0,077549638	kWh	95,20

Respecto a los resultados observados en la Tabla 31 y 32, se desprende que el aislamiento de equipos disminuye sobre un 90% las perdidas térmicas tanto en el proceso de maceración y cocción.

Tabla 33: Ahorro Térmico al Aislar los Equipos.

	Ahorro Anual [KWh]	Porcentaje de Ahorro Anual [%]
Tubingüer	24.130	9,54
Coda	7.064	5,24
Luthier	2.717	3,77
Cuello Negro	18.959	3,74
Selva Fría	1.902	2,48

De la Tabla 33 se puede observar el porcentaje ahorro anual de energía térmica al aislar los equipos, para cada CA según su nivel de producción y el tamaño de sus ollas.

7.4. Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento

El proceso de enfriamiento luego de la cocción consiste en enfriar el mosto de la cerveza desde los 100°C que alcanza en la cocción hasta una temperatura entre 20°C y 8°C para la fermentación. La temperatura requerida en la fermentación depende del tipo de cerveza que se desee preparar. Este proceso de enfriamiento se hace en 2 etapas, la primera se realiza al pasar el mosto de cerveza por un intercambiador de calor de placas. Este mosto pasa por un intercambiador en contracorriente a agua a temperatura ambiente (aproximadamente 15°C), donde el mosto alcanza una temperatura cercana a los 35°C. En la segunda etapa se enfría de la misma manera, pero utiliza como fluido de enfriamiento etenil glicol a -10°C donde el mosto alcanza la temperatura adecuada para la inoculación de la levadura para el proceso de fermentación.

La energía térmica que se desea recuperar es la transferida al agua a través del intercambiador de calor, ya que esa agua se puede utilizar para la siguiente maceración. Para calcular la eficiencia energética de la recuperación de energía térmica es necesario calcular la transferencia de calor en el intercambiador de placas. Las ecuaciones para el cálculo del intercambio térmico son las siguientes:

$$C_{agua} = \dot{m}_{agua} * c_{p,agua} \quad (15)$$

$$C_{cerv} = \dot{m}_{cerv} * c_{p,cerv} \quad (16)$$

$$q_{max} = C_{min} * (T_{cerv,i} - T_{agua,i}) \quad (17)$$

$$q = \mathcal{E} * q_{max} \quad (18)$$

$$q = \dot{m}_{agua} * c_{p,agua} * (T_{agua,f} - T_{agua,i}) \quad (19)$$

$$q = \dot{m}_{cerv} * c_{p,cerv} * (T_{cerv,i} - T_{cerv,f}) \quad (20)$$

Donde \dot{m} corresponde al flujo masico, c_p es el calor especifico de cada fluido, C es la capacitancia térmica, q es la transferencia de calor en el intercambiador, ε es la eficiencia del intercambiador y T corresponde a la temperatura de cada fluido con subíndice i cuando es temperatura inicial y subíndice f cuando es temperatura final.

Asumiendo $\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{cerv} = 1$ kg/s y con los calores específicos del agua y la cerveza (Capitulo 2.3) se calculó la capacitancia térmica de cada fluido. Luego se calculó la transferencia de calor máxima con la capacitancia térmica mínima de los fluidos. Finalmente, con la eficiencia se calculó la transferencia de calor y con esto se obtienen las temperaturas de los fluidos luego del intercambio térmico. La eficiencia de los intercambiadores de calor varía dependiendo del intercambiador de calor selecto. Se utilizo una eficiencia de intercambiador de 85%.

A continuación, se muestra la Tabla de datos:

Tabla 34: Datos para Cálculo de Transferencia de Calor.

Datos	Valor	Unidad
$c_{p,agua}$	4,182	kJ/kgK
$c_{p,cerv}$	3,73	kJ/kgK
$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{cerv}$	1	kg/s
$T_{cerv,i}$	100	°C
$T_{agua,i}$	15	°C
ε	0,85	-

Con los datos anteriores se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 35: Datos Obtenidos.

Datos	Resultados	Unidad
$T_{cerv,f}$	27,8	°C
$T_{agua,f}$	79,4	°C
q	269,49	kW

De la Tabla anterior se puede observar la energía térmica que se puede recuperar del proceso de enfriamiento para ser utilizada en la siguiente maceración. Dependiendo de la cantidad de maceraciones continuas que realice cada empresa y el tamaño de la olla de maceración se calcula el ahorro de energía térmica.

Las cervecerías estudiadas utilizan ollas de 500L y de 1.500L. La densidad de la cerveza se encuentra entre 1.005 kg/m³ y 1.060 kg/m³, por lo cual se utiliza una densidad promedio de 1.032 kg/m³. Con esta densidad se calcula que las ollas son de 516 y 1.548 kg respectivamente.

Como el flujo másico de cerveza y de agua en el intercambiador de calor es de 1 kg/s el proceso de enfriamiento de 500L se demora 516 segundos y el enfriamiento de 1500L se demora 1548 segundos.

Tabla 36: Recuperación de energía.

Datos	Resultados	Unidad
q	269,49	kW
Energía térmica recuperada (500L)	38,62	kWh
Energía térmica recuperada (1500L)	115,88	kWh

Como se observa en la Tabla anterior, dependiendo del tamaño de la olla se puede recuperar energía térmica para ser utilizada en la siguiente maceración. Para aumentar la recuperación de energía térmica es necesario que las cervecerías organicen su proceso de producción de forma que se realicen la mayor cantidad de cocciones seguidas. Como el horario laboral de las cervecerías es de 8 horas se

realiza un máximo de 3 cocciones diarias, por lo que se puede recuperar 2 veces la energía térmica calculada por cada 3 cocciones.

Tabla 37: Recuperación de energía térmica anual por cervecería.

Cervecería	Energía térmica recuperada anualmente	
	[kWh]	[%]
Coda	8032	5,95
Cuello Negro	33991	6,71
Selva Fría	2162	2,82

En la Tabla anterior se observa la energía térmica anual que es posible reutilizar en las cervecerías que no tienen implementada la recuperación de energía térmica en el proceso de enfriamiento. Esta recuperación se calcula según la cantidad de cocciones anuales organizadas eficientemente según su nivel de producción. Además, se considera una pérdida térmica del 10% en el transporte del fluido (piping).

8. Estudio de Prefactibilidad

8.1. Prefactibilidad Técnica

Se realiza un estudio de prefactibilidad técnica para evaluar si es posible poner en marcha los diferentes proyectos.

8.1.1. Energía Solar Fotovoltaica

Para la evaluación técnica de instalaciones fotovoltaicas se debe considerar diferentes aspectos tales como la selección del lugar de instalación, la accesibilidad a la tecnología, la instalación y la mantención de equipos. Es importante que se cumpla la ley 20.571.

La selección del lugar de instalación es importante técnicamente ya que se necesita seleccionar un lugar que además de tener la radiación necesaria para la generación de energía, cumpla con la superficie de instalación necesaria y con las condiciones para que la localización (orientación, inclinación y ubicación) de equipos sea la requerida para maximizar la producción eléctrica. La ubicación debe ser adecuada para que se proyecte una cantidad mínima de sombras en los módulos solares.

Las instalaciones fotovoltaicas son una tecnología consolidada actualmente en Chile por lo cual se tiene fácil acceso a precios cada vez más competitivos.

Los sistemas fotovoltaicos son de fácil instalación y sin grandes riesgos asociados. En Chile existe personal capacitado, por lo cual el instalar este tipo de tecnología es técnicamente implementable.

La mantención de los módulos solares fotovoltaicos es de mayor complejidad ya que acumulan suciedad que disminuyen su rendimiento. Por esta razón requieren de una constante limpieza, la cual no tiene un método simple de realizar y además se requiere agua (que no siempre es de fácil acceso). Las otras mantenciones que se realizan a los equipos fotovoltaicos son simples por lo cual no generan mayor complejidad.

8.1.2. Energía Solar Térmica

Para la evaluación técnica de instalaciones de colectores solares térmicos, se debe considerar aspectos tales como la selección del lugar de instalación, la accesibilidad a la tecnología, la instalación y la mantención de equipos. Es importante que se cumpla la ley 20.365.

La selección del lugar de instalación es importante técnicamente ya que se necesita seleccionar un lugar que además de tener la radiación necesaria para la generación de energía térmica, cumpla con la superficie de instalación necesaria y con las condiciones para que la localización (orientación, inclinación y ubicación) de equipos sea la requerida para maximizar la absorción de energía solar. La ubicación debe ser adecuada para que se proyecte una cantidad mínima de sombras en los colectores solares.

Actualmente en Chile la adquisición de los colectores solares y los componentes necesarios para el sistema son de fácil acceso y tienen precios competitivos en el mercado.

La instalación de sistemas solares térmicos no tiene grandes riesgos asociados y son fáciles de instalar. En Chile se encuentra personal capacitado por lo cual el instalar este tipo de tecnología es técnicamente implementable.

Los sistemas solares térmicos tienen diferentes tipos de mantenciones. Las mantenciones de los colectores es de mayor complejidad ya que acumulan suciedad que disminuye su rendimiento. Por esta razón requieren de una constante limpieza, la cual no tiene un método simple de realizar y además se requiere agua (que no siempre es de fácil acceso). Las otras mantenciones que se realizan a los componentes del sistema no son de mayor complejidad.

8.1.3. Energía Eólica

Para la evaluación técnica de instalaciones de sistemas eólicos, se debe considerar aspectos tales como la selección del lugar de instalación, la accesibilidad a la tecnología, la instalación y la mantención de equipos. Es importante que los proyectos eólicos cumplan la ley 19.300.

La selección del lugar de instalación es importante técnicamente ya que se necesita seleccionar un lugar que además de tener el viento necesario para la generación de energía, cumpla con la superficie de instalación necesaria. Para ubicar los aerogeneradores se debe considerar el ruido que puede generar al estar funcionando.

Actualmente en Chile grandes marcas del sector tienen representación en el país. Por esta razón los aerogeneradores son accesibles.

En el ámbito de los servicios existe cada vez más empresas tanto extranjeras como nacionales que se dedican a la instalación, mantención y operación, por lo cual se puede acceder a estos servicios [24].

Sin embargo, el mantenimiento de los aerogeneradores actualmente utiliza un método caro, lento y de alto riesgo para el personal. En la instalación y mantención de aerogeneradores uno de los mayores riesgos humanos asociados son los trabajos en altura en lugares ventosos. Por esto es importante que el personal este correctamente calificado para realizar este tipo de trabajos. También es importante considerar que en las mantenciones de las palas de los aerogeneradores se utiliza una cantidad considerable de agua para la limpieza, la cual no siempre es de fácil acceso.

8.1.4. Aislamiento de Equipos

Técnicamente el aislamiento de equipos es de fácil acceso, económico, de fácil instalación y no requiere de mantención ni operación. Por esta razón, el aislamiento de equipos es una mejora completamente viable.

8.1.5. Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento

La recuperación de energía térmica en el proceso de enfriamiento es una mejora fácil de aplicar. El bypass es una solución simple de implementar, económica y de mantenciones simples.

Los materiales para realizar la instalación de esta mejora son económicos y fáciles de conseguir. Además, la instalación y mantención del piping es simple y se puede adquirir este servicio de forma sencilla.

8.2. Prefactibilidad Económica

Para evaluar la prefactibilidad económica de la implementación de las diferentes tecnologías a diferentes plantas de CA, es necesario conocer todos los costos y ganancias para cada caso. Con esa información se realizan flujos de caja de cada

proyecto. Además, se calculan los indicadores económicos los cuales son utilizados para comparar los proyectos entre sí.

8.2.1. Costos

Cada aplicación tecnológica tiene diferentes costos asociados. Para cada proyecto es necesario calcular la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento.

Los costos totales de inversión asociados a la implementación de sistemas solares fotovoltaicos se obtienen a partir de la Tabla 38. Los costos totales de inversión se desglosan en diferentes componentes, los cuales tienen asociado un porcentaje de la inversión total. A partir de la cotización (Anexo 3) de módulos fotovoltaicos se estiman los costos totales de inversión.

Se estima que los costos de operación y mantenimiento anual del sistema solar fotovoltaico son el 2% de la inversión inicial [25].

Tabla 38: Estimación de Costos Totales de Inversión [25].

Sistema Solar Fotovoltaico	% Costo total de Inversión
Módulos Fotovoltaicos	50%
Inversor DC/AC	16%
Montaje y Componentes	6%
Cajas y otros equipamientos eléctricos	2%
Preparación del sitio e instalación	25%
Otros	1%

La estimación de los costos totales de inversión asociados a la implementación de sistemas solares térmicos se determinó estimando el precio y cotizando algunos componentes (Anexo 3). Se estima el precio de tubos evacuados como 294 USD/m² y el precio de los estanques de una regresión polinomial (Figura 30) [6].

Se estima que los costos de operación y mantenimiento anual del sistema solar térmico son el 1,5% de la inversión inicial [26].

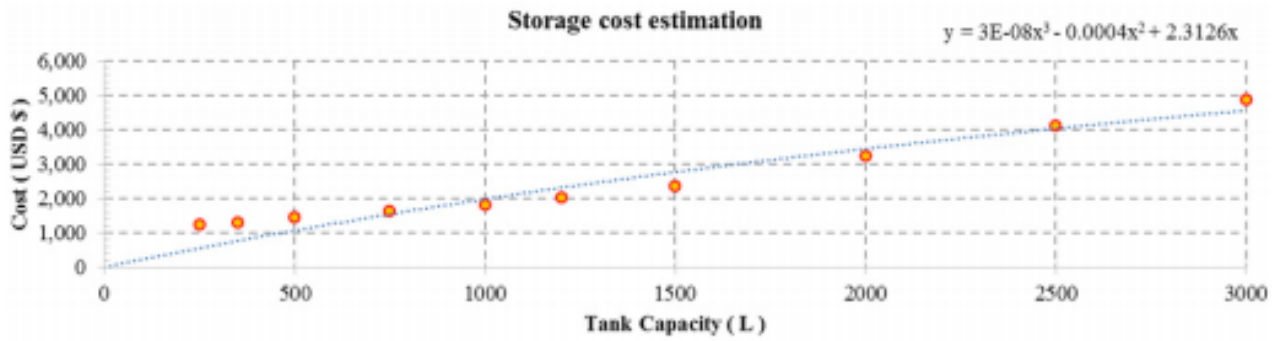


Figura 30: Costos de los Estanques de Almacenamiento [6].

Los costos totales de inversión asociados a la implementación de sistemas eólicos se obtienen a partir de la Tabla 39. Los costos totales de inversión se desglosan en diferentes componentes, los cuales tienen asociado un porcentaje de la inversión total. Se utiliza la potencia de cada turbina eólica para calcular su costo ya que se estima un costo de 1477 USD/kW por cada kW de potencia [27]. A partir de la estimación de costos de las diferentes turbinas eólicas (Anexo 4) se estiman los costos totales de inversión para cada caso.

Se estima que los costos de operación y mantenimiento anual del sistema eólico corresponde a 0,01 USD/kWh generado.

Tabla 39: Estimación de Costos Totales de Inversión [25].

Sistema Eólico	% Costo total de Inversión
Turbina Eólica	64%
Conexión a Red	11%
Costos de construcción	16%
Otros	9%

Los costos totales de inversión correspondiente a la aislación de equipos se obtienen a partir de la cotización del aislante seleccionado (Anexo 3). El costo de mantención y operaciones es 0 ya que el aislante no lo requiere.

Los costos totales de inversión correspondiente a la recuperación de energía térmica en el proceso de enfriamiento se obtienen a partir de la cotización del piping (Anexo 3) y el costo asociado a su instalación. Esta tecnología no genera nuevos gastos de mantención y operaciones para la empresa, ya que están considerados dentro de la mantención general de los equipos de preparación de cerveza.

8.2.2. Flujo de Caja

Para los flujos de caja se toman las siguientes consideraciones:

- La inversión inicial es financiada un 100% por la empresa, por lo cual no requiere préstamo.
- El impuesto de primera categoría es 27% según la normativa de Servicio de Impuestos Internos (SII)
- El horizonte de estimación de los proyectos es 20 años.
- La depreciación se calcula según la vida útil de los activos (Tabla 40).
- Los ahorros en gastos energéticos generados por el proyecto es considerado ingreso.
- Los proyectos de EE calculan su ingreso con respecto a lo que se economiza en GLP.
- La tasa de descuento es del 10%.

Tabla 40: Vida Útil de los Activos.

	Vida Útil
Sistema Solar Fotovoltaico	25 años
Sistema Solar Térmico	20 años
Sistema Eólico	20 años
Aislante	30 años
Sistema Recuperación de energía (Piping)	20 años

En Anexo 5 se adjunta el modelo de los flujos de caja utilizados para las diferentes tecnologías.

8.2.3. Indicadores Económicos

Los indicadores económicos son datos de carácter estadístico, permiten realizar un análisis de las diferentes situaciones. Se calculan 4 diferentes indicadores diferentes: VAN, TIR, PIR y LCOE.

VAN es el Valor Actual Neto. El VAN se utiliza para la valorización de las opciones de inversión. Cuando el VAN es negativo significa que el proyecto generará pérdidas, si es igual a 0 significa que no genera ni beneficios ni pérdidas

y si es positivo significa que generará beneficios. Con el VAN se puede evaluar cual opción de inversión es mejor que otra. La ecuación utilizada para calcular el VAN del proyecto es:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{G_i - C_i}{(1-r)^i} - I_0 \quad (21)$$

Donde:

- i : el periodo, en este caso año
- n : vida del proyecto, en este caso se mide en años
- G_i : ganancias del periodo i
- C_i : costos del periodo i
- I_0 : inversión inicial
- r : es la tasa de descuento

TIR es la Tasa Interna de Retorno. El TIR es el porcentaje de beneficio o pérdida del proyecto evaluado. Si el TIR es mayor a la tasa de descuento significa que el proyecto tiene beneficios y si es menor significa que tiene pérdidas, por lo cual se podrá ver si el proyecto es conveniente o no. La ecuación utilizada para calcular el TIR del proyecto es:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{G_i - C_i}{(1-TIR)^i} - I_0 = 0 \quad (22)$$

PRI es el Periodo de Recuperación de la Inversión. El PRI mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión. Cuando la ganancia es igual en los periodos se puede calcular el PRI de la siguiente ecuación:

$$PRI = \frac{I_0}{G} \quad (23)$$

Donde:

- G : ganancia por periodo

LCOE es Levelized Cost of Energy. El LCOE entrega el costo de producir un MWh. Permite comparar con otros tipos de generación de energía. La ecuación utilizada para calcular el LCOE es:

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{G_i - C_i}{(1-r)^i} - I_0}{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{(1-r)^i}} \quad (24)$$

Donde:

- E_i : energía producida en el periodo i

En las Tablas 41, 42, 43, 44,45 y 46 se observan los indicadores obtenidos para cada caso.

Tabla 41: Indicadores Económicos de Generación Fotovoltaica.

Ciudad	Generación fotovoltaica	Superficie instalada					Unidad
		10 m ²	20 m ²	30 m ²	50 m ²	80 m ²	
Valdivia	VAN	27983	55823	83803	139779	223572	USD
	LCOE	175,245	175,194	175,206	175,234	175,216	USD/MWh
	PRI	6,713	6,728	6,725	6,720	6,722	años
	TIR	13,77	13,73	13,74	13,76	13,75	%
Vicuña	VAN	40723	81589	122453	204052	326352	USD
	LCOE	181,813	181,839	181,844	181,851	181,837	USD/MWh
	PRI	4,751	4,743	4,741	4,742	4,744	años
	TIR	20,55	20,59	20,59	20,61	20,58	%

Tabla 42: Indicadores Económicos de Generación Solar Térmica Reemplazando GLP.

Ciudad	Generación Térmica	Superficie instalada				Unidad
		10 m ²	20 m ²	30 m ²	40 m ²	
Valdivia	VAN	28.814	56.280	78.827	97.529	USD
	LCOE	42,023	44,057	44,205	44,112	USD/MWh
	PRI	16,442	13,242	12,980	13,155	años
	TIR	1,94	4,30	4,52	4,37	%
Vicuña	VAN	46401	86748	118196	144.269	USD
	LCOE	45,353	46,590	46,566	46,425	USD/MWh
	PRI	11,174	9,182	9,211	9,450	años
	TIR	6,32	8,92	8,87	8,52	%

Tabla 43: Indicadores Económicos de Generación Solar Térmica Reemplazando GN.

Ciudad	Generación Térmica	Superficie instalada				Unidad
		10 m ²	20 m ²	30 m ²	40 m ²	
Valdivia	VAN	69558	132187	184817	228907	USD
	LCOE	101,445	103,479	103,644	103,534	USD/MWh
	PRI	7,859	6,301	6,174	6,259	años
	TIR	11,20	14,88	15,25	15,00	%
Vicuña	VAN	107195	197405	269045	328927	USD
	LCOE	104,775	106,021	105,997	105,847	USD/MWh
	PRI	5,302	4,344	4,358	4,473	años
	TIR	18,19	22,63	22,55	21,93	%

Tabla 44: Indicadores Económicos de Generación Eólica.

Ciudad	Generación Eólica	Aerogenerador						Unidad
		Proven 15	Proven 6	Proven 2,5	North Power 60-23	North Power 100-24	Endurace G3120	
Valdivia	VAN	430085	82540	72541	2428266	1998956	1275761	USD
	LCOE	190,581	190,320	190,583	190,537	190,614	190,632	USD/MWh
	PRI	3,540	7,005	3,499	4,143	3,067	2,814	años
	TIR	28,05	13,05	28,38	23,80	32,49	35,46	%
Vicuña	VAN	95283	12886	19101	478651	450753	281216	USD
	LCOE	189,737	187,649	189,919	189,385	189,904	189,963	USD/MWh
	PRI	13,631	29,442	11,703	17,038	11,871	11,220	años
	TIR	3,97	-3,43	5,75	1,58	5,58	6,27	%

Tabla 45: Indicadores Económicos de Aislación.

Aislación	Utilizado 500 veces anuales		Utilizado 100 veces anuales		Unidad
	Estanque 1500L	Estanque 500L	Estanque 1500L	Estanque 500L	
VAN	7.633,43	4.011,15	1.526,21	801,96	USD
LCOE	49,04	49,04	49,02	49,02	USD/MWh
PRI	0,220	0,219	1,089	1,085	años
TIR	453,64	455,65	91,80	92,20	%

Tabla 46: Indicadores Económicos de Recuperación Térmica.

Recuperación de energía térmica	Utilizado 500 veces anuales		Utilizado 100 veces anuales		Unidad
	Estanque 1500L	Estanque 500L	Estanque 1500L	Estanque 500L	
VAN	123.053,50	41.007,73	100.235,97	32.369,09	USD
LCOE	49,00	49,01	66,65	67,01	USD/MWh
PRI	0,108	0,323	0,133	0,408	años
TIR	926,00	309,51	754,55	244,81	%

9. Resultados

9.1. Energía Solar Fotovoltaica

La generación de energía se observa gráficamente en la Figura 31.

Los indicadores económicos obtenidos presentados en la Tabla 41 se pueden observar de manera visual en las Figuras 32, 33, 34 y 35. Para ambas ciudades resulta implementable el uso de esta tecnología.

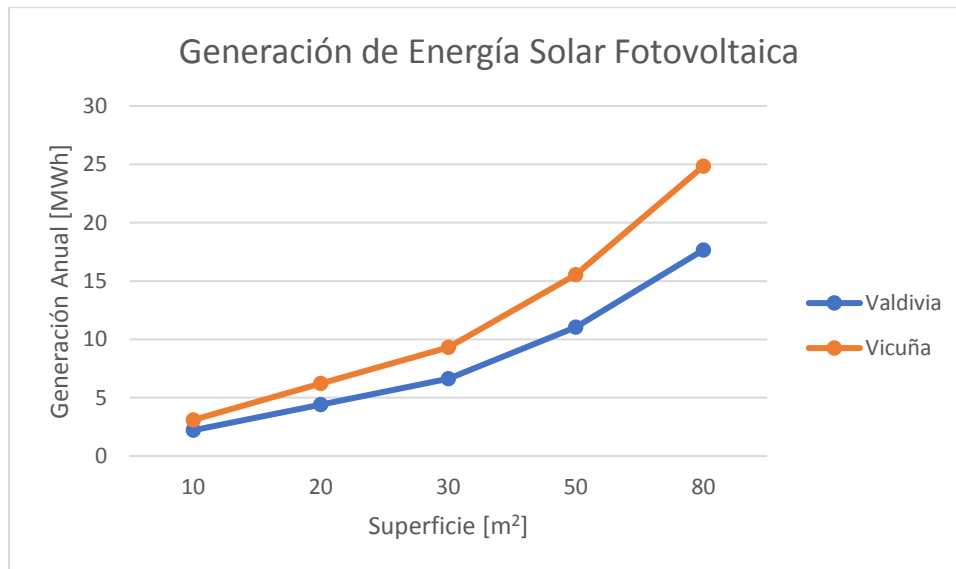


Figura 31: Generación de Energía Solar Fotovoltaica.

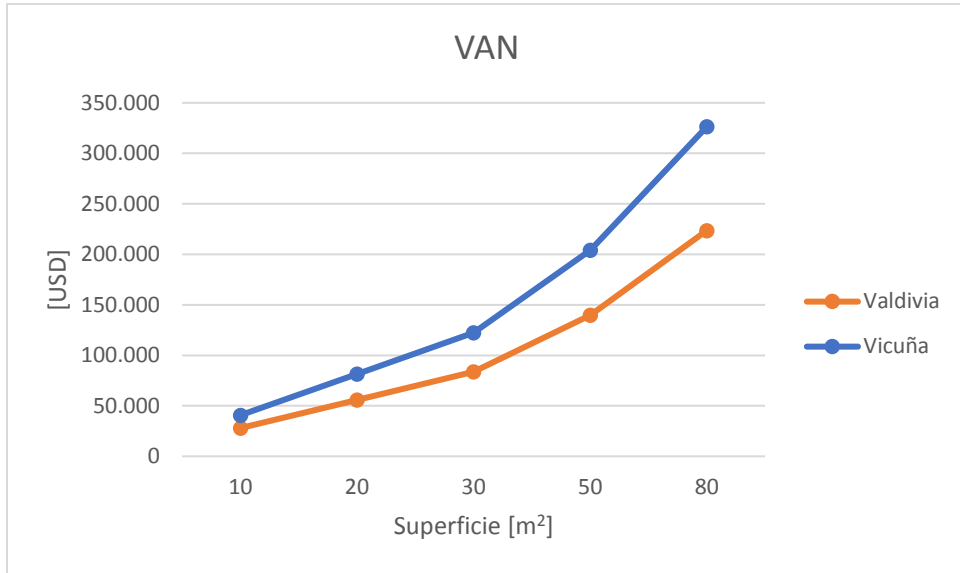


Figura 32: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos Fotovoltaicos.

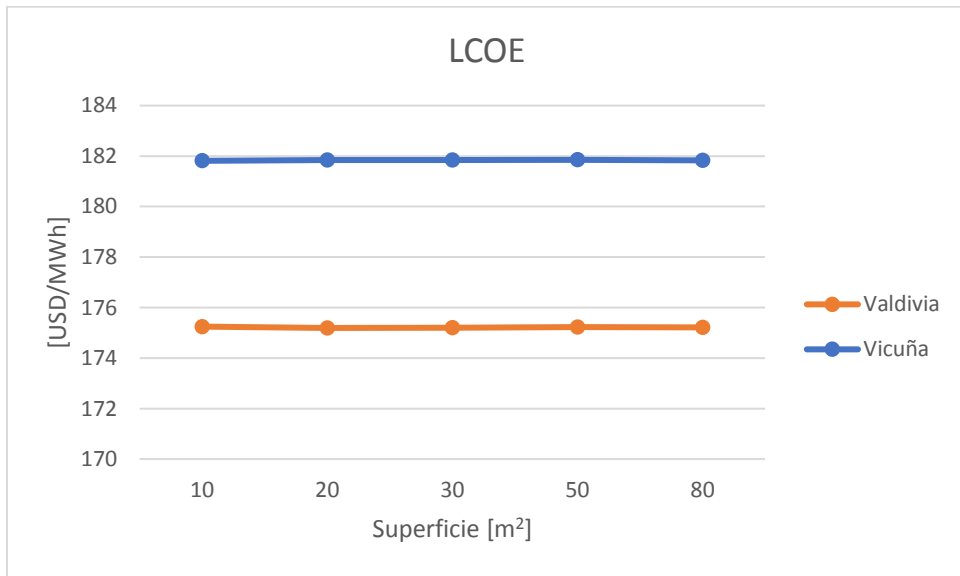


Figura 33: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos Fotovoltaicos.

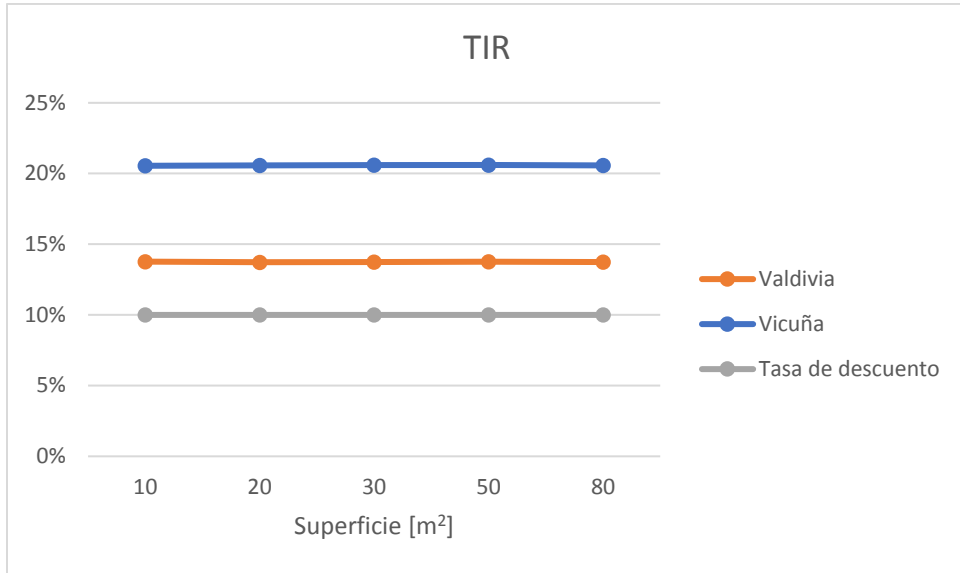


Figura 34: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos Fotovoltaicos.

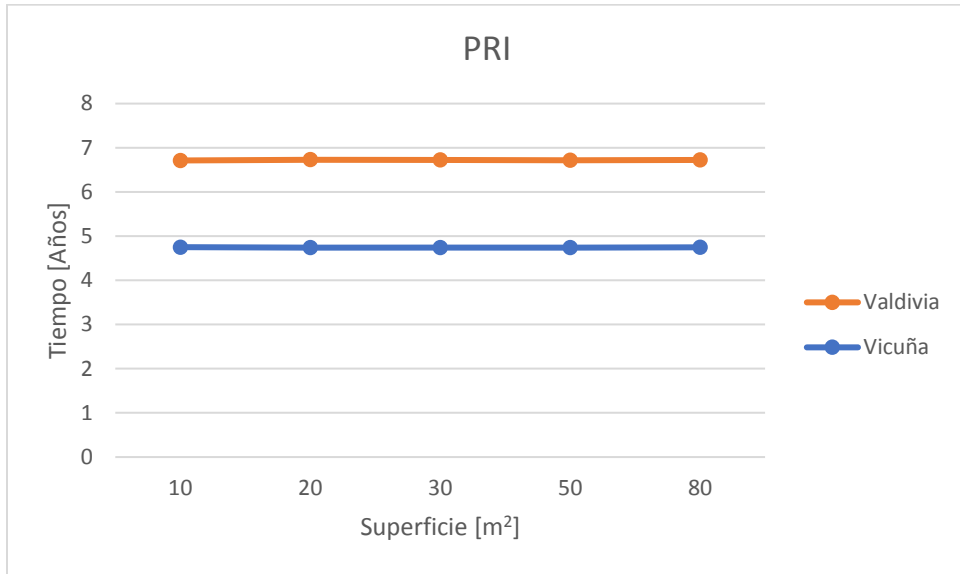


Figura 35: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos Fotovoltaicos.

9.2. Energía Solar Térmica

La generación de energía se observa gráficamente en a Figura 36.

Los indicadores económicos obtenidos presentados en la Tablas 42 y 43 se pueden observar de manera visual en las Figuras 37, 38, 39 y 40. Para ambas ciudades podría ser implementable el uso de esta tecnología, dependiendo el combustible a reemplazar.

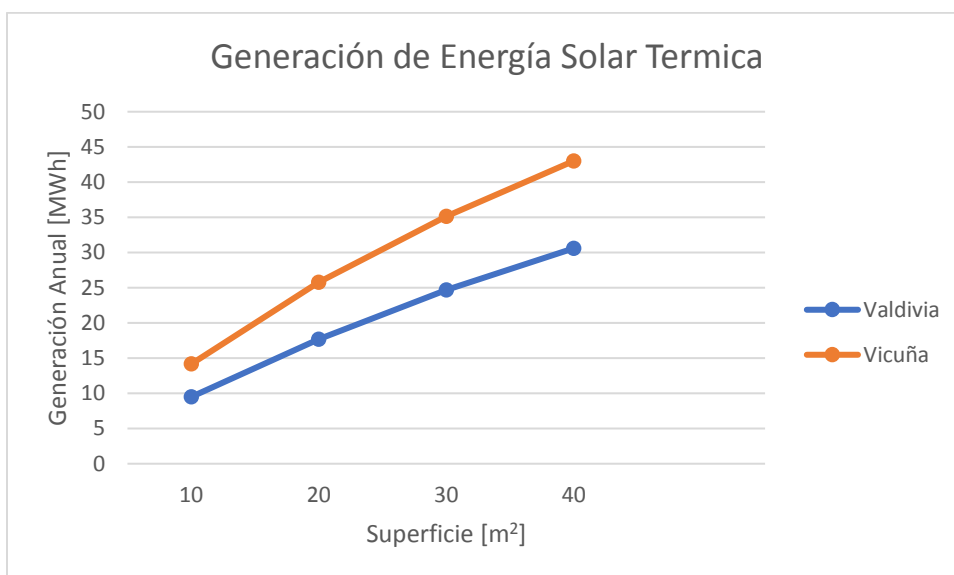


Figura 36: Generación de Energía Solar Térmica.

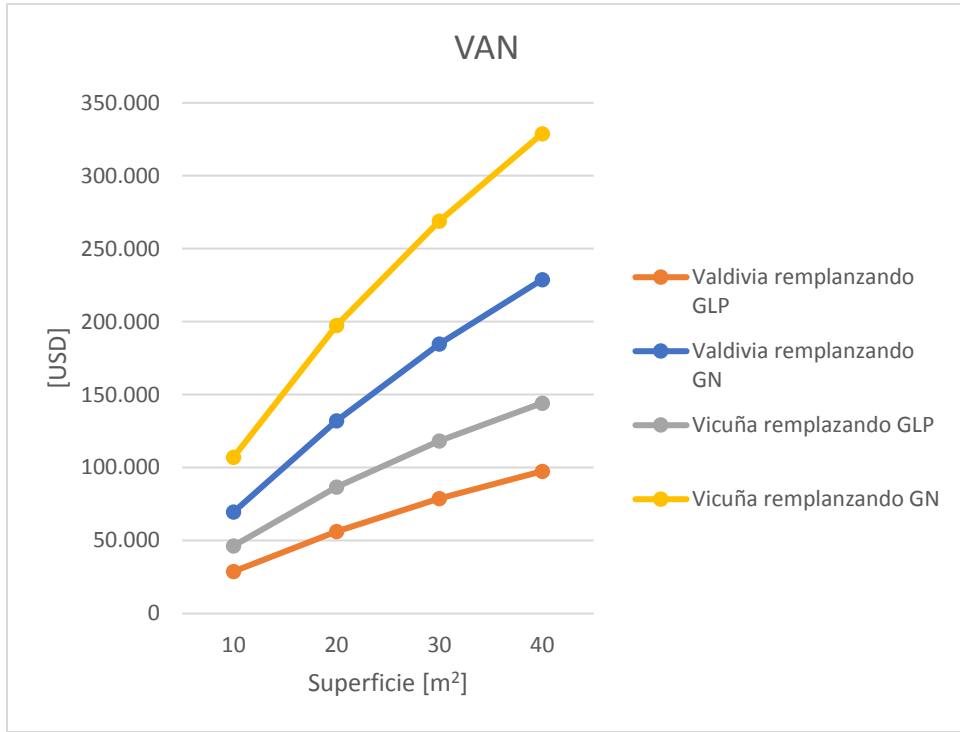


Figura 37: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos Solares Térmicos.

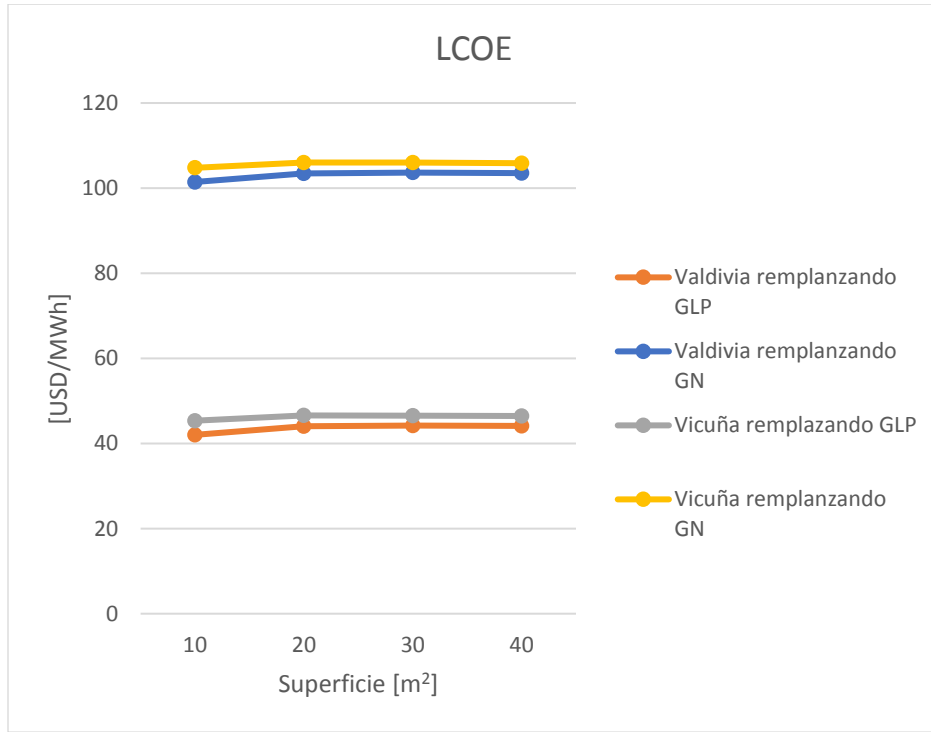


Figura 38: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos Solares Térmicos.

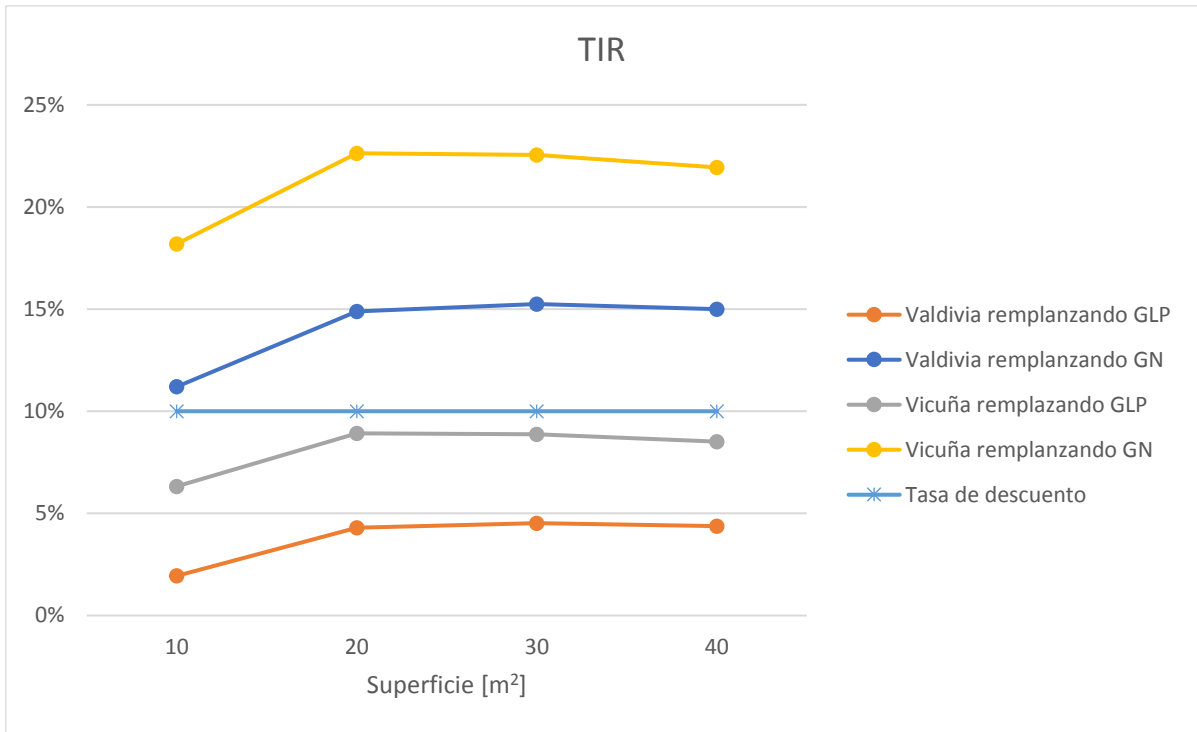


Figura 39: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos Solares Térmicos.

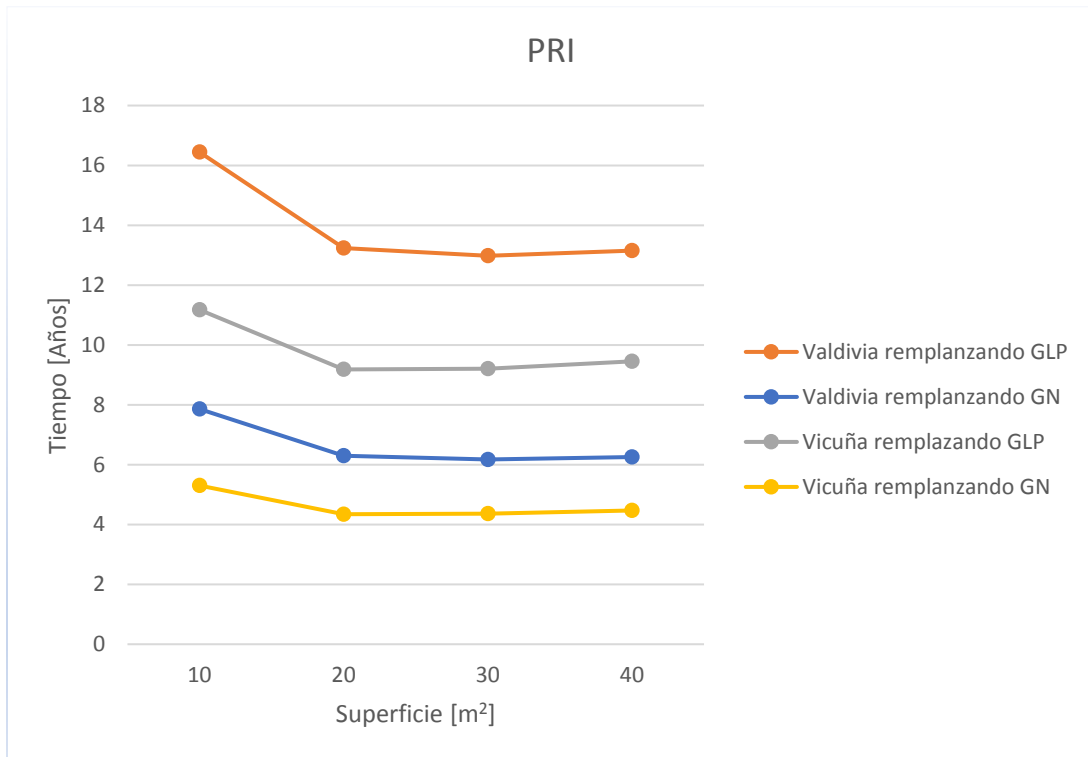


Figura 40: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos Solares Térmicos.

9.3. Energía Eólica

La generación de energía se observa gráficamente en a Figura 41.

Los indicadores económicos obtenidos presentados en la Tabla 44 se pueden observar de manera visual en las Figuras 42, 43, 44 y 45. Para la ciudad de Valdivia resulta implementable el uso de esta tecnología, en cambio, para la ciudad de Vicuña no.

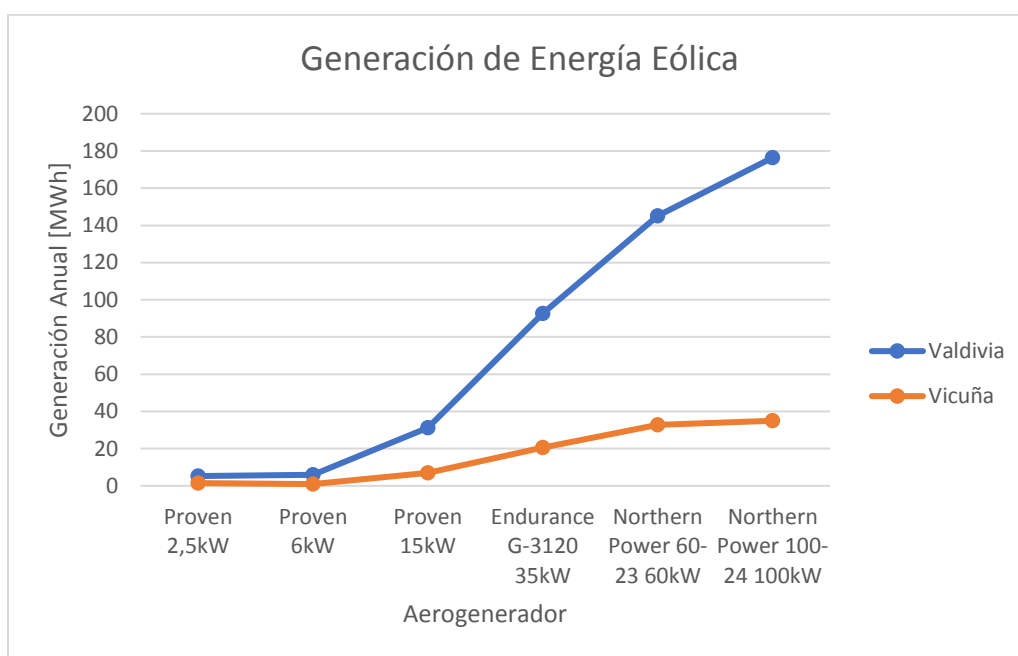


Figura 41: Generación de Energía Eólica.

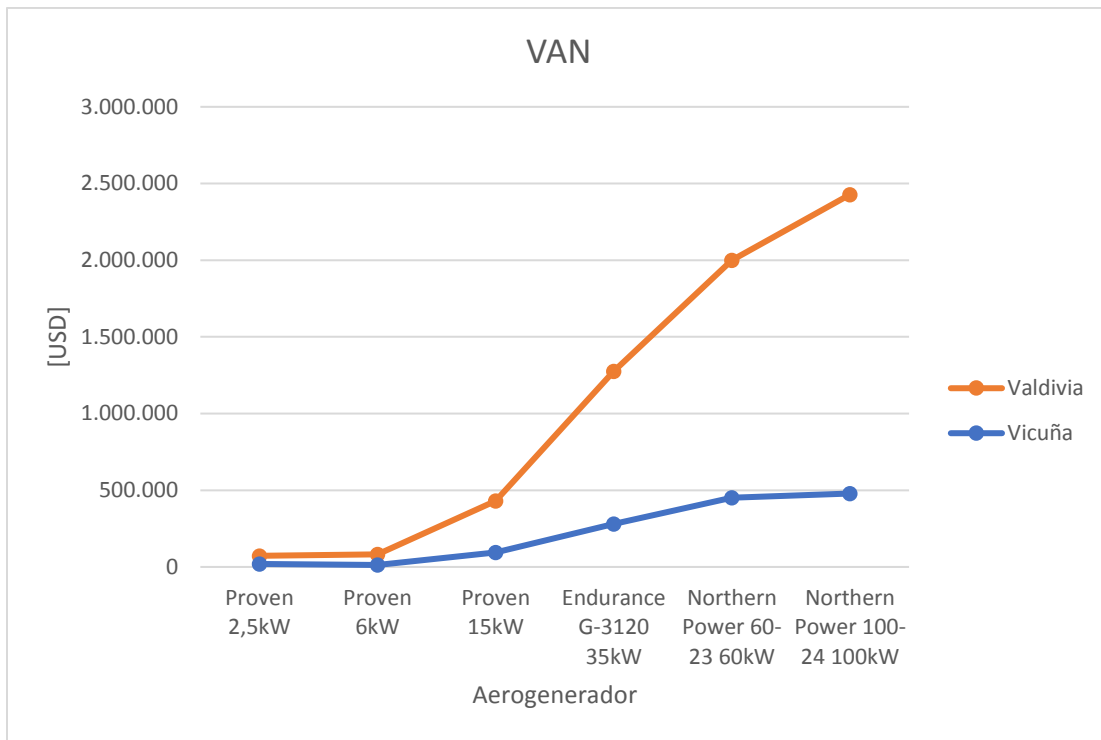


Figura 42: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos Eólicos.

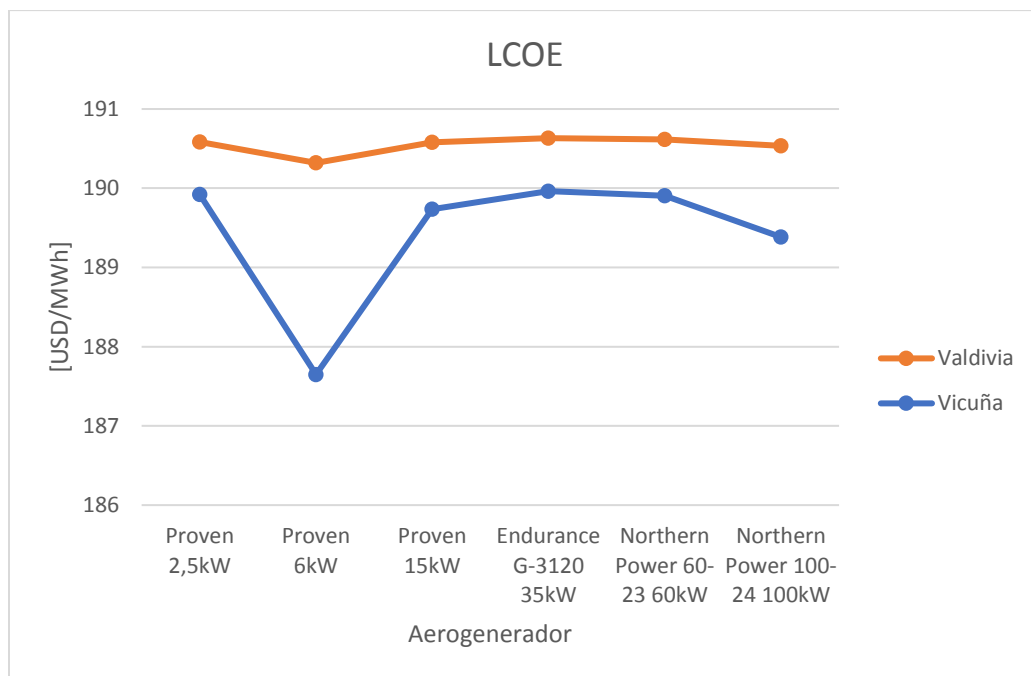


Figura 43: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos Eólicos.

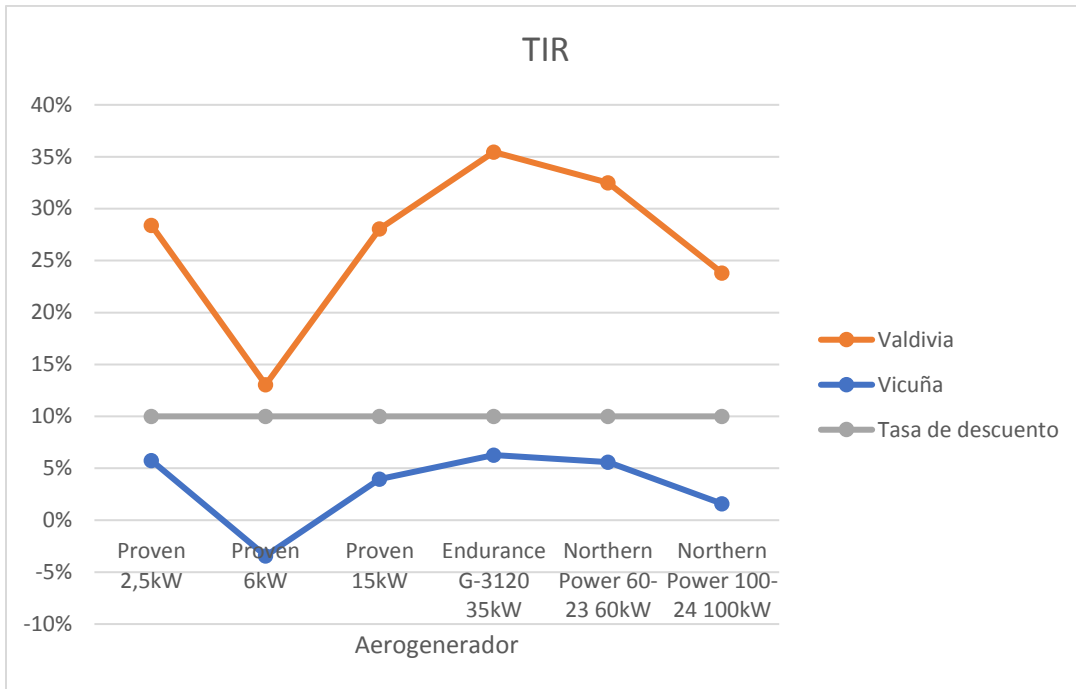


Figura 44: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos Eólicos.

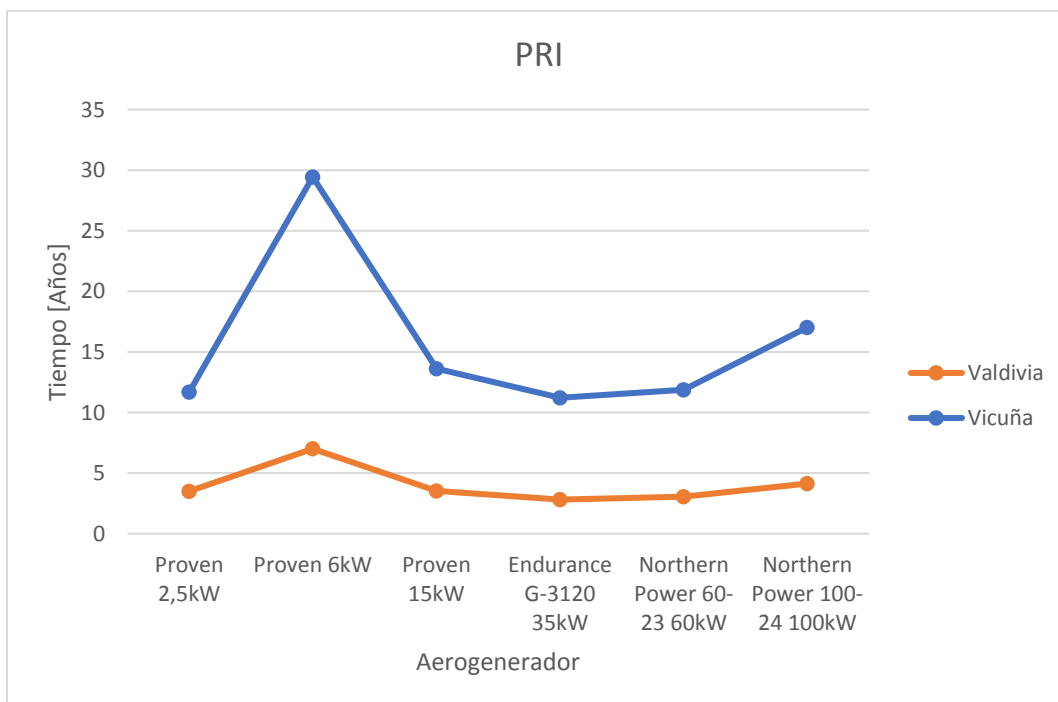


Figura 45: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos Eólicos.

9.4. Aislamiento de Equipos

La recuperación de energía se observa gráficamente en a Figura 46.

Los indicadores económicos obtenidos presentados en la Tabla 45 se pueden observar de manera visual en las Figuras 47, 48, 49 y 50. Para ambos equipos resulta implementable el uso de esta tecnología.

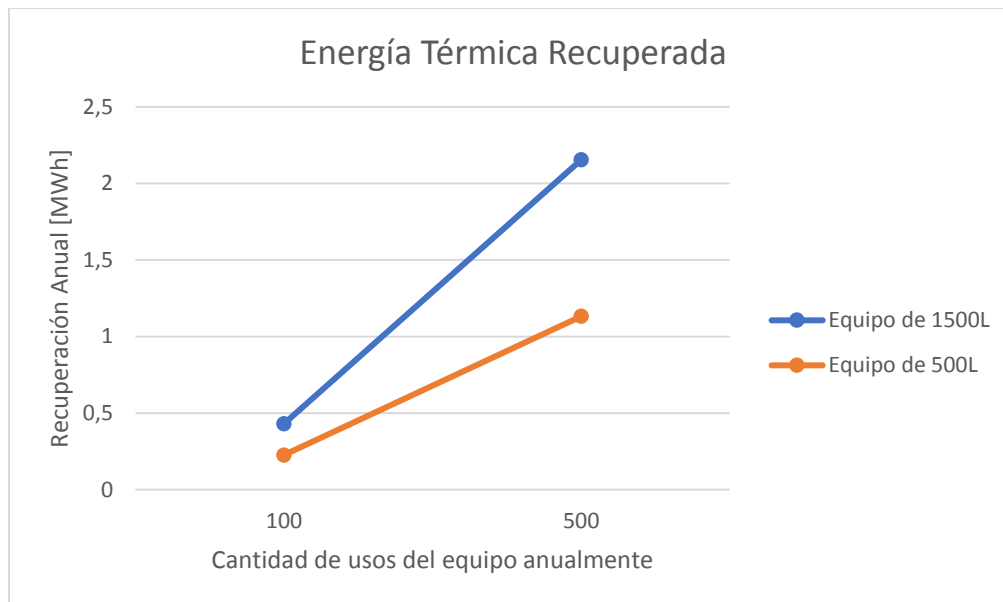


Figura 46: Energía Térmica Recuperada de Proyectos de Aislamiento.

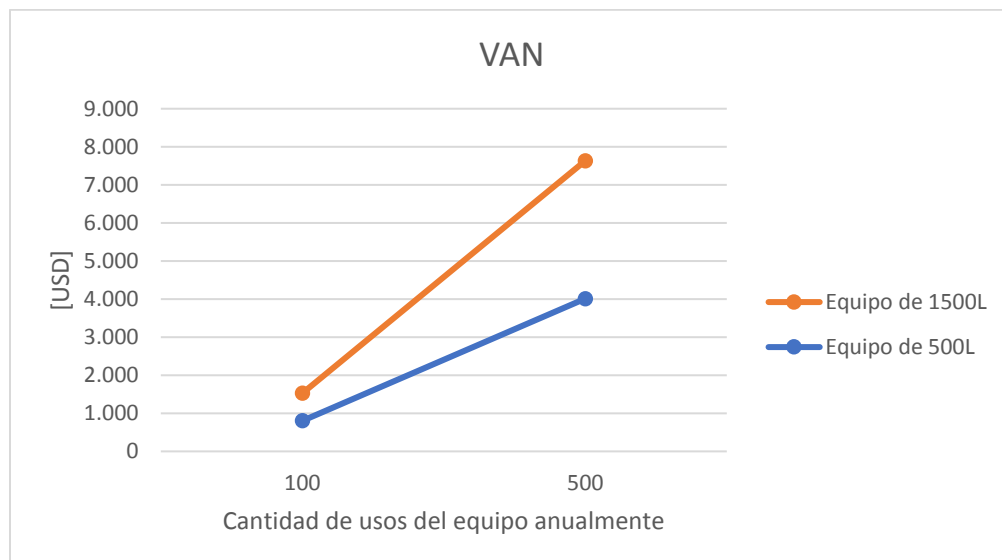


Figura 47: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos de Aislamiento.

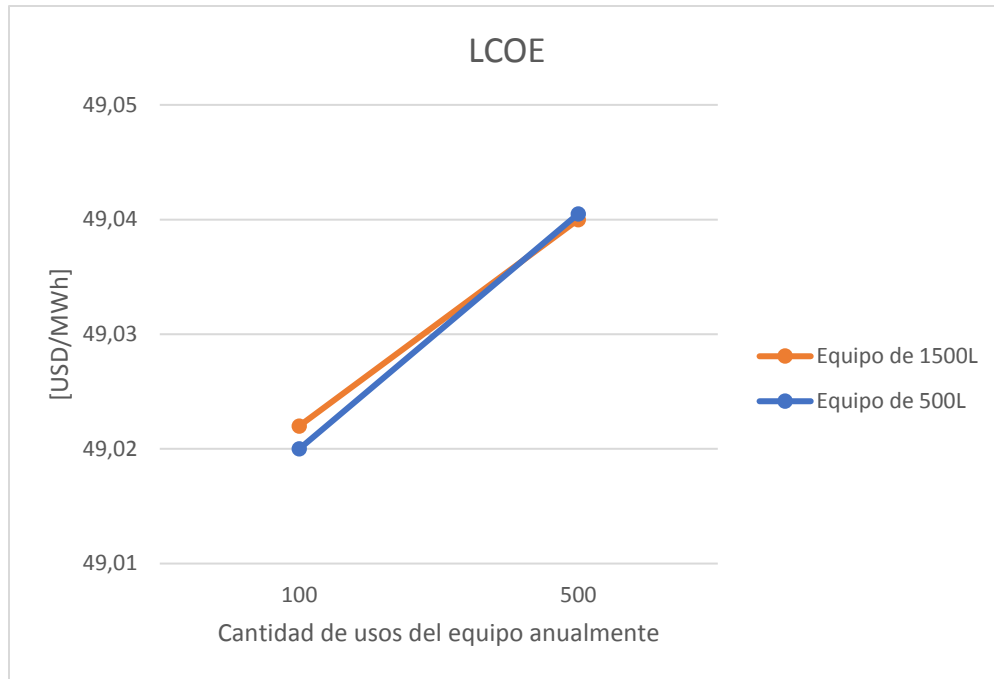


Figura 48: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos de Aislamiento.

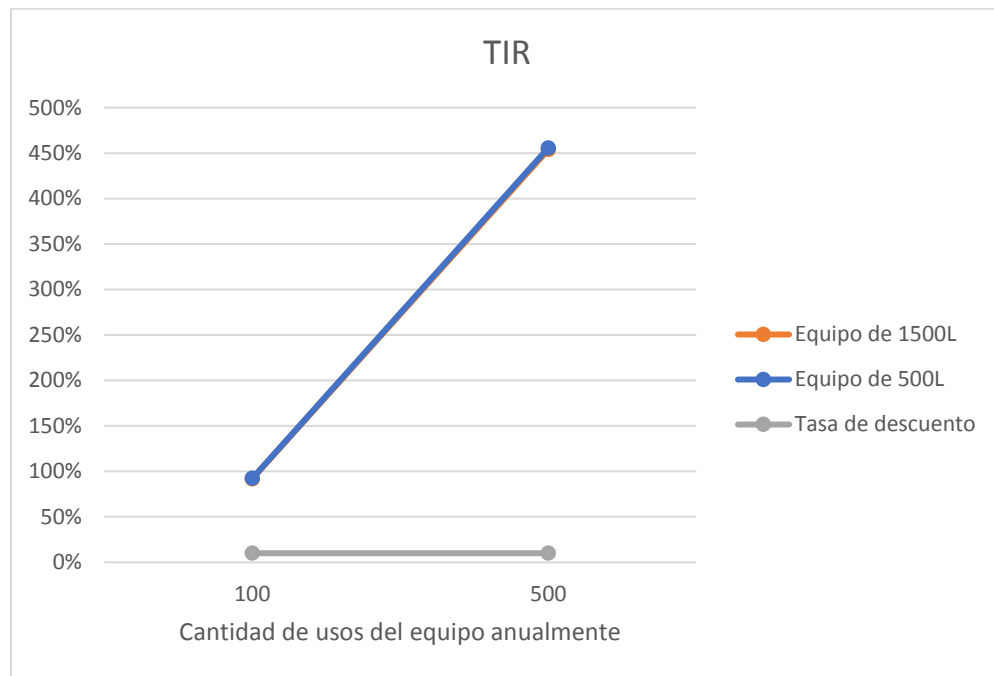


Figura 49: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos de Aislamiento.

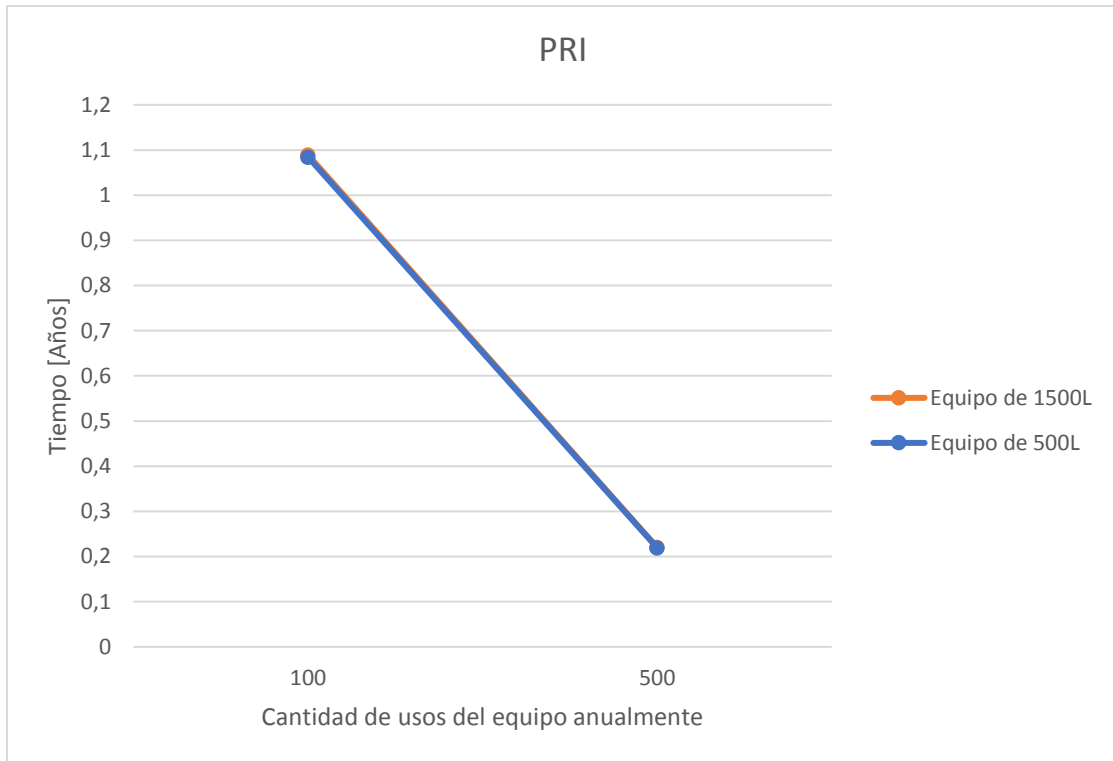


Figura 50: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos de Aislamiento.

9.5. Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento

La recuperación de energía se observa gráficamente en a Figura 51.

Los indicadores económicos obtenidos presentados en la Tabla 46 se pueden observar de manera visual en las Figuras 52, 53, 54 y 55. Para ambos equipos resulta implementable el uso de esta tecnología.

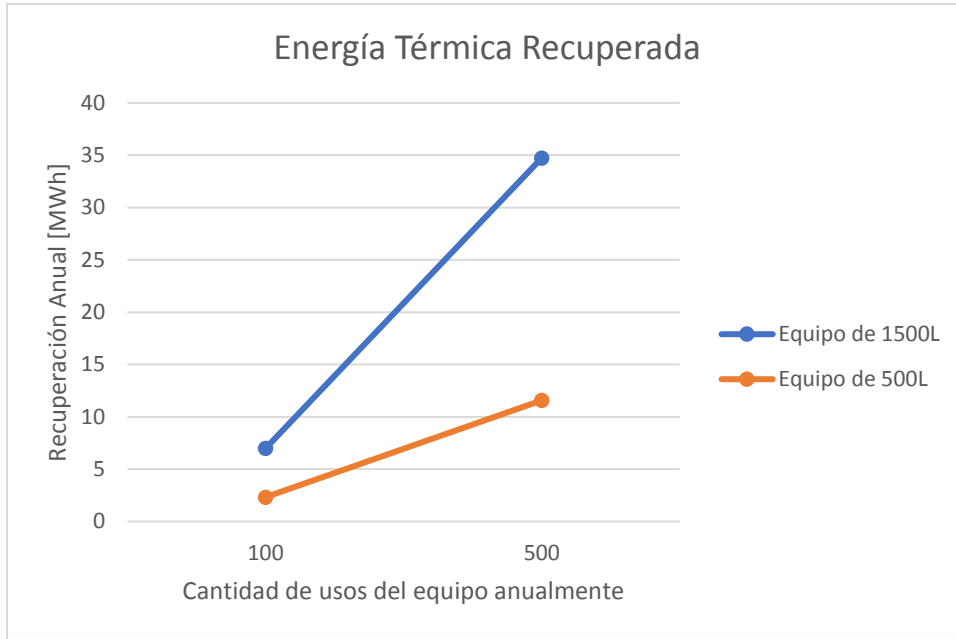


Figura 51: Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.

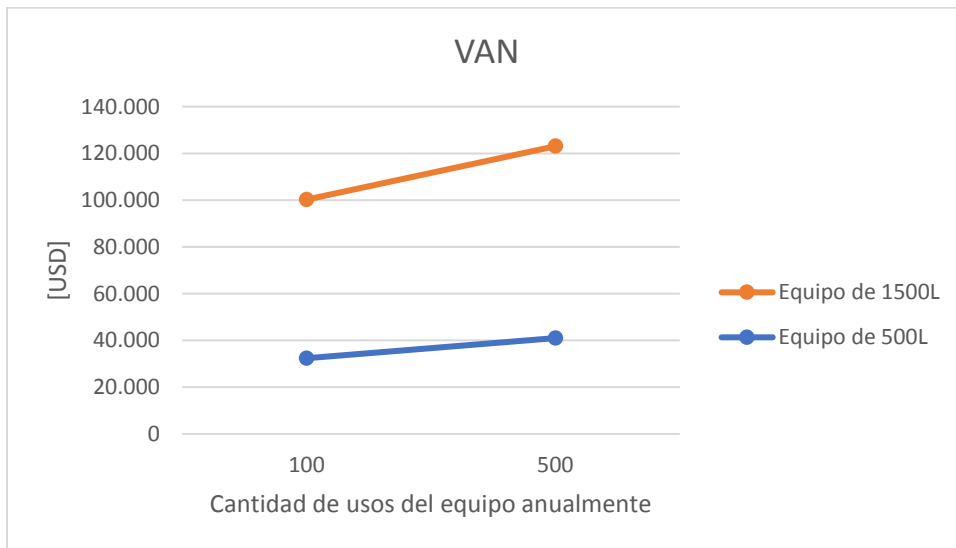


Figura 52: Gráfico del Indicador VAN de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.

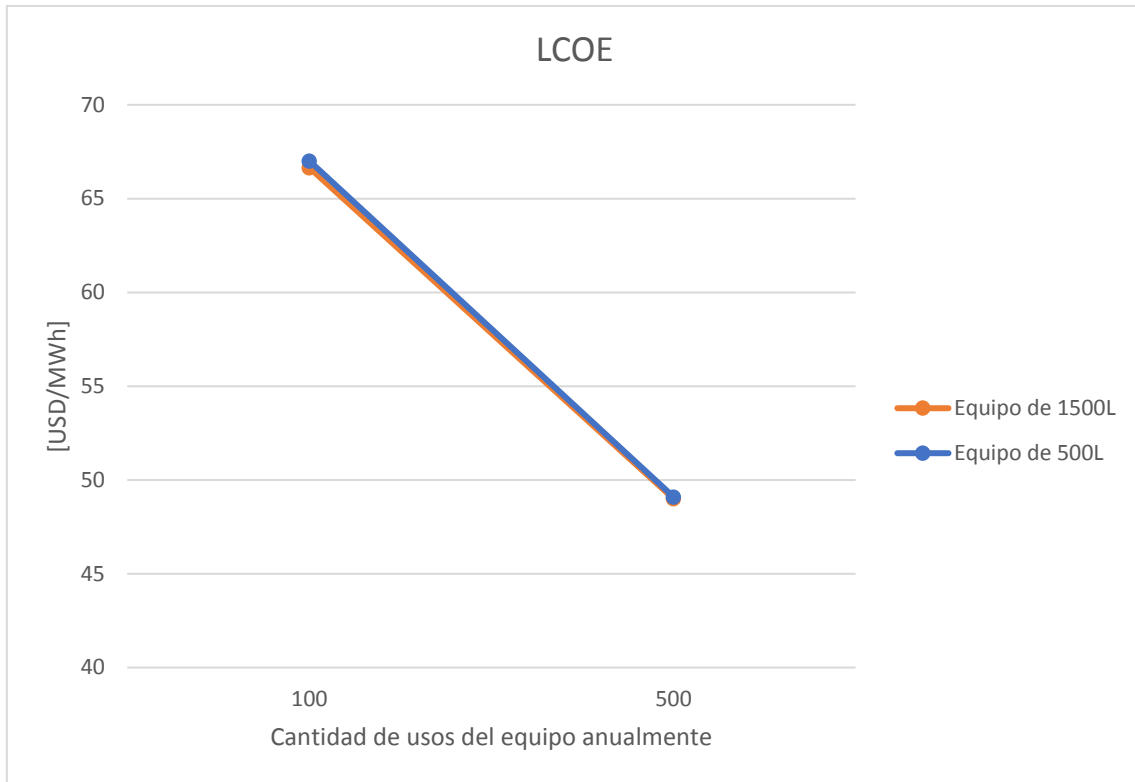


Figura 53: Gráfico del Indicador LCOE de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.

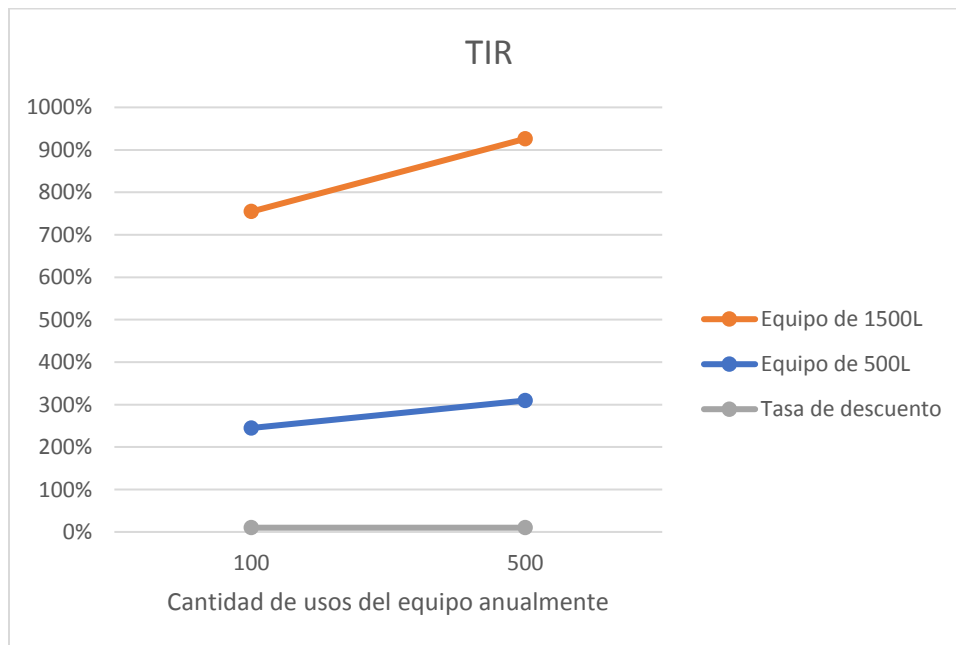


Figura 54: Gráfico del Indicador TIR de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.

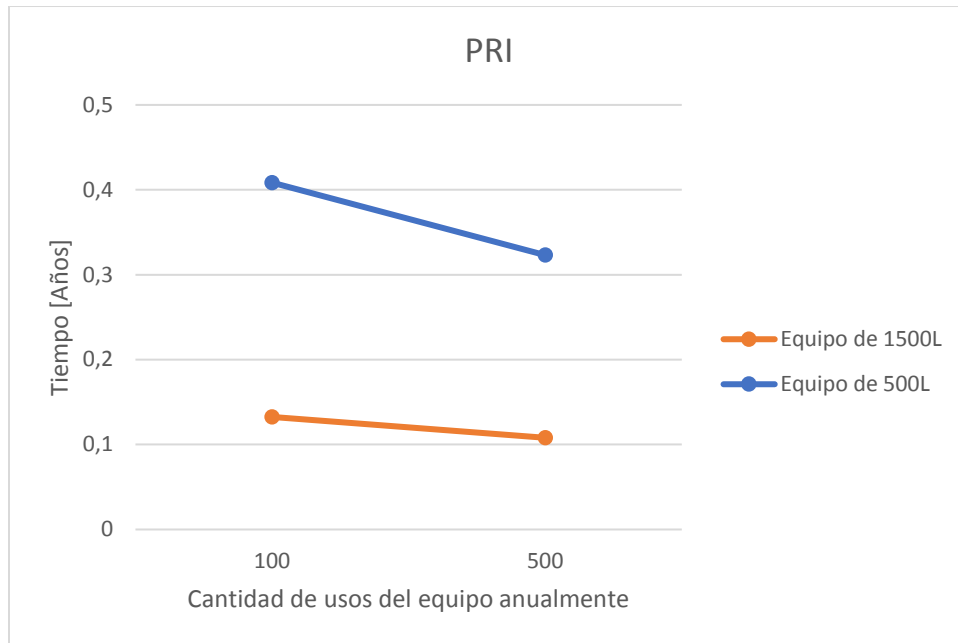


Figura 55: Gráfico del Indicador PRI de Proyectos de Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento.

10. Análisis

10.1. Energía Solar Fotovoltaica

De la Figura 31 se observa que la generación de Energía Solar Fotovoltaica es superior en la ciudad de Vicuña que en la de Valdivia. Como la radiación solar es superior en la ciudad de Vicuña que en la ciudad de Valdivia, el gráfico de la Figura 31 se comporta tal como se esperaba.

El VAN obtenido en los proyectos es positivo siempre, independientemente de la superficie de instalación, por lo cual generan beneficio. En relación con la generación de energía, el VAN se comporta acorde a lo esperado según la ciudad y el aumento de superficie instalada.

El LCOE obtenido de los diferentes proyectos son menores al costo de la energía eléctrica utilizada por lo cual es conveniente el uso de esta tecnología en ambas ciudades. El LCOE no varía mucho según la superficie de instalación.

Analizando el gráfico de la Figura 34, el TIR de todos los proyectos esta sobre la tasa de descuento, por lo cual todos generan beneficios. Los proyectos realizados en la ciudad de Vicuña tienen un TIR mayor a los de la ciudad de Valdivia, esto es de esperar por la mayor generación eléctrica debido a la mayor radiación. El TIR tiene una variación mínima con la superficie de instalación.

Analizando el gráfico de la Figura 35, el PRI es mayor en Valdivia que en Vicuña tal como se esperaba, ya que a mayor radiación mayor generación eléctrica y menor tiempo de retorno de la inversión. El PRI tiene una variación mínima según superficie instalada. El PRI en ambos casos es razonable para un proyecto de 20 años.

En general esta tecnología es adecuada para las 2 ciudades. Aplicar la tecnología en una ciudad con mayor radiación genera más energía y mayores beneficios económicos.

10.2. Energía Solar Térmica

De la Figura 36 se observa que la generación de Energía Solar Térmica es superior en la ciudad de Vicuña que en la de Valdivia. Como la radiación solar es superior en la ciudad de Vicuña que en la ciudad de Valdivia, el gráfico de la Figura 36 se comporta tal como se esperaba.

El VAN obtenido en los proyectos es positivo siempre, independientemente de la superficie de instalación, por lo cual generan beneficio. En relación con la generación de energía, el VAN se comporta acorde a lo esperado según la ciudad y el aumento de superficie instalada.

El LCOE obtenido de los diferentes proyectos son menores al costo de la energía térmica en ambos casos (GLP y GN) por lo cual es conveniente el uso de esta tecnología en ambas ciudades. El LCOE no varía mucho según la superficie de instalación.

Analizando el gráfico de la Figura 39, el TIR de los proyectos que remplazan el GN están sobre la tasa de descuento, por lo generan beneficios. Los proyectos que remplazan el GLP están bajo la tasa de descuento por lo que genera pérdidas, según este indicador, esto se debe al bajo costo del GLP. Los proyectos realizados en la ciudad de Vicuña tienen un TIR mayor a los de la ciudad de Valdivia, esto es de esperar por la mayor generación eléctrica debido a la mayor radiación.

Analizando el gráfico de la Figura 40, el PRI es mayor en Valdivia que en Vicuña tal como se esperaba, ya que a mayor radiación mayor generación térmica y menor tiempo de retorno de la inversión. Entre menor sea el PRI más conveniente es para la empresa, por lo cual los inversionistas preferirán los proyectos de remplazo de GN sobre los de GLP.

En general esta tecnología no siempre es recomendable económicamente. Aplicar la tecnología en una ciudad con mayor radiación genera más energía y mayores beneficios económicos, sin embargo, el GLP entra a un precio competitivo ante el mercado actual; por lo cual se podría preferir un remplazo de GN en Valdivia por sobre el remplazo de GLP en Vicuña.

10.3. Energía Eólica

De la Figura 41 se observa que la generación de Energía Eólica es superior en la ciudad de Valdivia que en la ciudad de Vicuña. Como el viento es mayor en ciudad de Valdivia que en la ciudad de Vicuña, el gráfico de la Figura 41 se comporta tal como se esperaba.

El VAN obtenido en los proyectos es positivo siempre, por lo cual todos generan beneficio. En relación con la generación de energía, el VAN se comporta acorde a lo esperado según la ciudad y el aumento de superficie instalada.

El LCOE obtenido de los diferentes proyectos son menores al costo de la energía eléctrica utilizada por lo cual es conveniente el uso de esta tecnología según este indicador.

Analizando el gráfico de la Figura 44, el TIR de todos los proyectos de la ciudad de Valdivia están sobre la tasa de descuento, por lo cual todos generan beneficios. Los proyectos realizados en la ciudad de Vicuña tienen un TIR menor a la tasa de descuento por lo cual no es conveniente realizar los proyectos en esta ciudad, según el indicador.

Analizando el gráfico de la Figura 45, el PRI es mayor en Vicuña tal como se esperaba, ya que hay menores vientos que producen menor generación eléctrica y mayor tiempo de retorno de la inversión. El PRI es razonable para los proyectos a realizar en Valdivia.

En general esta tecnología es adecuada para ciudades con mayor viento como en este caso Valdivia. Aplicar la tecnología en una ciudad con mayor viento genera más energía y mayores beneficios económicos.

10.4. Aislamiento de Equipos

De la Figura 46 se observa que la Recuperación de energía es superior en equipos de mayor tamaño.

El VAN obtenido en los proyectos es positivo siempre, por lo cual todos generan beneficio. En relación con la recuperación de energía, el VAN se comporta acorde a lo esperado.

El LCOE obtenido de los diferentes proyectos son menores al costo de la energía térmica utilizada por lo cual es conveniente el uso de esta tecnología según este indicador.

Analizando el gráfico de la Figura 49, el TIR de todos los proyectos están muy por encima de la tasa de descuento, por lo cual todos generan beneficios.

Analizando el gráfico de la Figura 50, el PRI es mayor a mayores usos tal como se esperaba. El PRI es mínimo, por lo cual es razonable realizar los proyectos.

En general esta tecnología es adecuada siempre. Esto se debe a que se pierde mucha energía al no aislar térmicamente los equipos.

10.5. Recuperación de Energía Térmica en el Proceso de Enfriamiento

De la Figura 51 se observa que la Recuperación de energía es superior en equipos de mayor tamaño.

El VAN obtenido en los proyectos es positivo siempre, por lo cual todos generan beneficio. En relación con la recuperación de energía, el VAN se comporta acorde a lo esperado.

El LCOE obtenido de los diferentes proyectos son menores al costo de la energía térmica utilizada por lo cual es conveniente el uso de esta tecnología, según este indicador.

Analizando el gráfico de la Figura 54, el TIR de todos los proyectos están muy por encima de la tasa de descuento, por lo cual todos generan beneficios.

Analizando el gráfico de la Figura 55, el PRI es mayor a mayores usos tal como se esperaba. El PRI es mínimo, por lo cual es razonable realizar los proyectos.

En general esta tecnología es adecuada siempre. Esto se debe a que se pierde mucha energía en el proceso de enfriamiento.

10.6. Análisis sectorial

La implementación de paneles fotovoltaicos es una tecnología aplicable a todos los tamaños de CA, ya que se puede ajustar a los requerimientos energéticos de cada planta. Las CA ubicadas en lugares con radiación mayor o igual a la de Valdivia son óptimas para aplicar esta tecnología. La inversión inicial es media por lo cual a las CA de menor tamaño les podría ser complicada la implementación, pero siempre se verán beneficiadas al largo plazo. El tiempo de retorno de la inversión es razonable y a mayor radiación menor tiempo de retorno de inversión. Las CA podrían llegar a modificar su matriz energética hasta en un 20% de energía eléctrica de red a fotovoltaica.

La energía solar térmica es implementable a todos los niveles de producción de las CA que utilizan GN, ya que se puede ajustar la generación térmica a los requerimientos de cada planta. Esta implementación podría no ser idónea para el remplazo del GLP ya que el costo de este combustible es bajo. La inversión es media por lo cual es compleja implementar para productores pequeños. Con esta tecnología, las CA podrían llegar a modificar hasta en un 40% su matriz energética aproximadamente.

La implementación de aerogeneradores no es conveniente para todos los niveles de producción de CA. Esta tecnología es de alto costo por lo cual es poco accesible para los productores de menor tamaño. La velocidad del viento requerida para una generación óptima es alta, por lo cual se requiere de un estudio específico según la ubicación de cada cervecería y su nivel de producción para analizar si es conveniente implementar esta tecnología. Cuando la velocidad del viento es adecuada para los aerogeneradores el tiempo de retorno de inversión es cercana a

los 5 años, lo cual es razonable para grandes empresas. Las CA podrían llegar a modificar su matriz energética hasta en un 20% aproximadamente con esta tecnología.

Las soluciones de EE, como es el aislamiento de equipos y la recuperación de energía térmica en el proceso de enfriamiento, son aplicables a CA de todas las escalas de producción. La inversión en estos proyectos es de bajo costo y efectiva, sin riesgos asociados, por lo que se recupera rápidamente el capital invertido. Ambos proyectos de EE son beneficiosos para todo nivel de producción. Las CA podrían llegar a modificar su matriz energética reduciendo su consumo energético hasta en un 10% aproximadamente implementando ambas tecnologías.

En general la energía solar Fotovoltaica podría preferirse frente a la energía eólica en lugares de mayor radiación solar, en cambio la energía eólica podría preferirse en lugares más ventosos y con menos radiación solar.

11. Conclusiones

En primer lugar, se cumplió lo establecido en el objetivo general y los objetivos específicos. En resumen, se realizó un reconocimiento de la industria de CA, su matriz energética y los usos habituales de energía. A partir de esto, se logró seleccionar y desarrollar diferentes ERNC y mejoras de EE, para modificar la matriz energética de la industria de CA.

De todas las plantas de CA visitadas se concluye que todas utilizan el proceso de producción estándar, por lo cual utilizan equipos similares que cumplen las mismas funciones.

Del estudio se obtiene que las plantas de CA tienen una matriz energética que está compuesta principalmente por energía térmica. La matriz energética promedio utiliza un 79% de energía térmica basada en el uso de combustibles fósiles y el porcentaje restante es energía eléctrica. Esto se debe a que los procesos principales de producción de cerveza se realizan a altas temperaturas.

Del análisis de las opciones de ERNC se descarta el uso de energía a partir de biocombustibles en la industria CA. Los biocombustibles pueden ser una buena alternativa al uso de combustibles fósiles, aunque actualmente en Chile el uso de biocombustibles no se ha implementado; por lo cual es de difícil acceso y tiene altos costos asociados.

De los estudios solares y eólicos se concluye que es importante realizar estudios específicos para cada cervecería. Esto se debe a que los recursos solares y eólicos cambian con la localización por lo cual no pueden utilizarse directamente los resultados obtenidos en proyectos en otras localidades. Adaptar la planta sin un estudio específico podría generar pérdidas.

Del estudio solar fotovoltaico se concluye que esta tecnología es aplicable en la ciudad de Valdivia y Vicuña. Esto se debe a que en ambas ciudades se obtienen beneficios al implementar paneles fotovoltaicos, lo cual se ve representado en los indicadores económicos de los proyectos estudiados. Cuando la tecnología fotovoltaica, tiene la radiación necesaria, esta es implementable a todo nivel de producción de CA. Esto se debe a que se puede configurar la instalación para el requerimiento energético de cada cervecería. Por otro lado, el costo de esta tecnología es medio por lo cual es compleja implementar para productores pequeños, aunque beneficioso.

Del estudio solar térmico se concluye que esta tecnología es aplicable en plantas que utilizan GN en la ciudad de Valdivia y Vicuña. Esto se debe a que en ambas ciudades se obtienen beneficios al implementar colectores solares térmicos, lo cual se ve representado en los indicadores económicos de los proyectos

estudiados. La inversión necesaria para adaptar la planta a energía solar térmica es media por lo cual es compleja implementar para productores pequeños. Según el estudio solar térmico se obtiene que el adaptar plantas que utilizan GLP puede no tener beneficios económicos. Esto se asocia a lo económico que es el GLP. En los indicadores económicos obtenidos se observa lo poco conveniente de los proyectos, donde el TIR es menor a la tasa de descuento y el PRI es muy alto.

Del estudio eólico se concluye que el aprovechamiento de esta tecnología solo resulta rentable en lugares con vientos constantes y relativamente moderados. Esta tecnología tiene un alto costo de inversión asociado por lo cual no es conveniente en las CA de baja producción. Según el estudio eólico se concluye que no es conveniente el uso de esta tecnología en la ciudad de Vicuña. Esto se ve representado en los indicadores económicos obtenidos, donde el TIR es menor a la tasa de descuento y el PRI es muy alto.

Al comparar la energía eólica con la energía solar fotovoltaica, se concluye que la energía solar fotovoltaica es de mayor acceso a todas las cervecerías. Sin embargo, cuando las CA están localizadas en lugares de baja radiación y con altas velocidades de viento será conveniente la energía eólica por sobre la energía fotovoltaica.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que las mejoras de EE son implementables a toda CA. Esto se debe a que las soluciones de eficiencia energética (el aislamiento de equipos y la recuperación de energía térmica en el proceso de enfriamiento) son fáciles de implementar, de bajo costo y reducen considerablemente las pérdidas térmicas, reduciendo a su vez el consumo de combustibles en los procesos térmicos.

Es importante notar que es posible disminuir la huella de carbono producida por la industria de CA. El uso de ERNC y el aumento de la EE producen externalidades positivas para la sociedad en general por lo cual produce un valor agregado al producto.

Finalmente se concluye que efectivamente es posible modificar sobre el 30% la matriz energética a ERNC y disminuir sobre un 5% el consumo de energía, aplicando las mejoras de EE. Según el estudio esto es válido para los diferentes niveles de producción de la CA ya que las tecnologías se adecuan a las necesidades de cada industria.

Bibliografía

- [1] Acera, <<Participación ERNC en la generación de energía 2018 en Chile>> 2018. [En línea]. Available: <http://www.acera.cl/el-protagonismo-de-las-energias-renovables-no-convencionales/> . [Último acceso: Julio 2019].
- [2] Acechi, << Minuta estudio sobre la contribución de la industria de la cerveza a la economía en Chile, realizado por Acechi (2018).>> Enero 2019. [En línea]. Available: <https://acechi.cl/nuestra-industria/>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [3] PBS, <<Elaboración de la cerveza.>> 2016. [En línea]. Available: <https://pbs.twimg.com/media/CwM20sNXEAYygjx.jpg:large> [Último acceso: Octubre 2018].
- [4] Gisbert, M. (2016) Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza. (Master's Thesis) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- [5] Donkelaar, L. H. G. Van, Mostert, J., Zisopoulos, F. K., Boom, R. M., & Goot, A. Van Der. (2016). The use of enzymes for beer brewing: Thermodynamic comparison on resource use. *Energy*, 115, 519–527.
- [6] Nájera-trejo, M., Martín-domínguez, I. R., & Escobedo-bretado, J. A. (2016). Economic feasibility of flat plate vs evacuated tube solar collectors in a combisystem. *Energy Procedia*, 91, 477–485.
- [7] Copiello, S., Copiello, S., Grillenzoni, C., Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J., Andri, A. I. (2017). Solar Photovoltaic Energy and Spatial Dependence. *Energy Procedia*, 141, 86–90.
- [8] Acesol, <<Mapa de irradiación solar de Chile>> 2014. [En línea]. Available: <https://acesol.cl/noticias/item/413-mapa-de-irradiaci%C3%B3n-solar-de-chile.html> [Último acceso: Marzo 2019].
- [9] Stathopoulos, T., Alrawashdeh, H., Al-quraan, A., Blocken, B., Dilimulati, A., Paraschivoiu, M., & Pilay, P. (2018). Urban wind energy: Some views on potential and challenges. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 179(June), 146–157.
- [10] Ministerio de Energía; Departamento de Geofísica, FCFM, Universidad de Chile; GIZ, «Explorador Eólico» 2012. [En línea]. Available: <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>. [Último acceso: Agosto 2019].

- [11] Ahn, J., & Hwan, J. (2018). Combustion characteristics of a 16 step grate- firing wood pellet boiler. *Renewable Energy*, 129, 678–685.
- [12] Euromonitor , <<Beer in Chile>> 2018. [En línea]. Available: <https://www.euromonitor.com/beer-in-chile/report> [Último acceso: Mayo 2019].
- [13] Stickney, B. & Soifer, B. (2006). Collector efficiency: second order curves [gráfico]. Recuperado de <http://solarprofessional.com/articles/products-equipment/solar-heating/solar-thermal-hydronics/page/0/4#.WzFmIKf0k2z> [Links]
- [14] Bassi, P. (2013) Proyecto de central fotovoltaica-eólica para un máximo aprovechamiento de energía renovable. (Tesis Pregrado) Universidad de Chile, Santiago.
- [15] Wind Power, <<Wind turbine power output variation with steady wind speed.>> 2015. [En línea]. Available: http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm [Último acceso: Agosto 2019].
- [16] Fredes, N. (2014) Evaluación técnica y económica de una planta de producción de combustible sólido a partir de biomasa forestal en la Región de Los Lagos. (Tesis Pregrado) Universidad de Chile, Santiago.
- [17] Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley & Sons.
- [18] Palomo, M. (2017). *Aislantes térmicos: criterios de selección por requisitos energéticos*. (Tesis Pregrado) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- [19] Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción; CEPCO; AICIA. (2008) *Catálogo de elementos constructivos del cte*.
- [20] Molina, A., Falvey, M., & Rondanelli, R. (2017). A solar radiation database for Chile. *Scientific Reports*, 7(1), 14823.
- [21] Google Maps, <<Chile>> [En línea]. Available: <https://www.google.cl/maps/place/Chile/@-36.8219145,-88.1804,4z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x9662c5410425af2f:0x505e1131102b91d!8m2!3d-35.675147!4d-71.542969> [Último acceso: Agosto 2019].
- [22] Ministerio de Energía; Departamento de Geofísica, FCFM, Universidad de Chile, «Explorador Solar,» Ministerio de Energía, 2006. [En línea]. Available: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>. [Último acceso: Julio 2019].
- [23] Incropera, F. & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*.

- [24] Prensa de Revista ElectroIndustria (2015) El avance de la energía eólica en Chile. Revista ElectroIndustria. Agosto de 2015.
- [25] F. Petrakopoulou. (2016) On the economics of stand-alone renewable hybrid power plants in remote regions. Energy Conversion and Management, vol. 118, pp. 63-74.
- [26] GREBE (2017). Advice Notes on Solar Thermal Technology Economics for the NPA Region. 1–22.
- [27] IRENA (2018). Renewable Power Generation Costs in 2017. Abu Dhabi.

Anexo 1

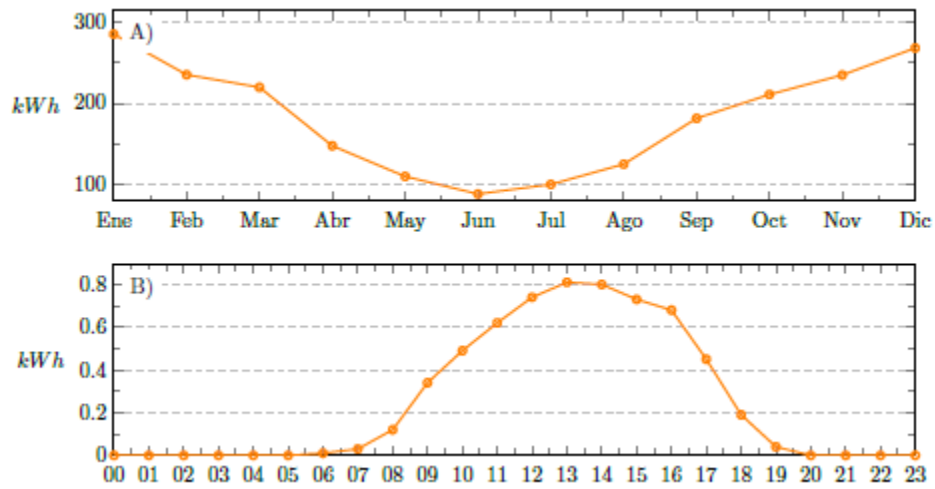


Figura 56: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 10 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

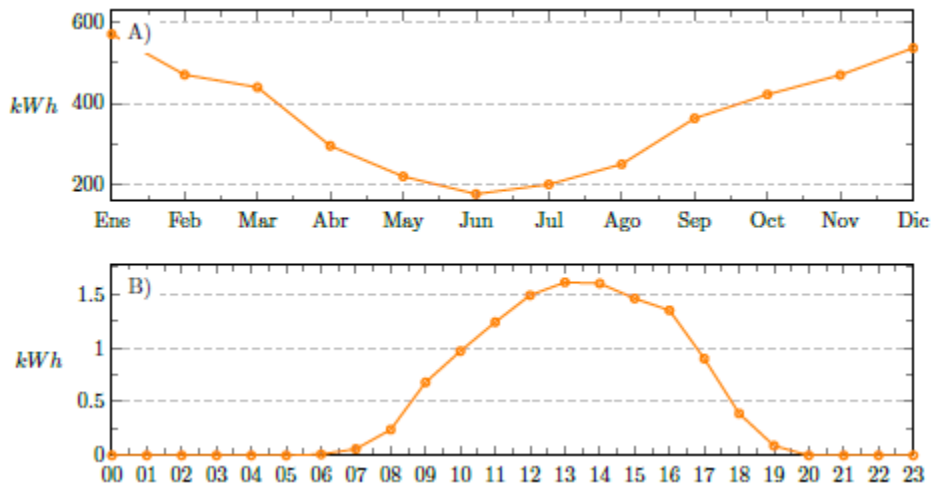


Figura 57: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 20 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

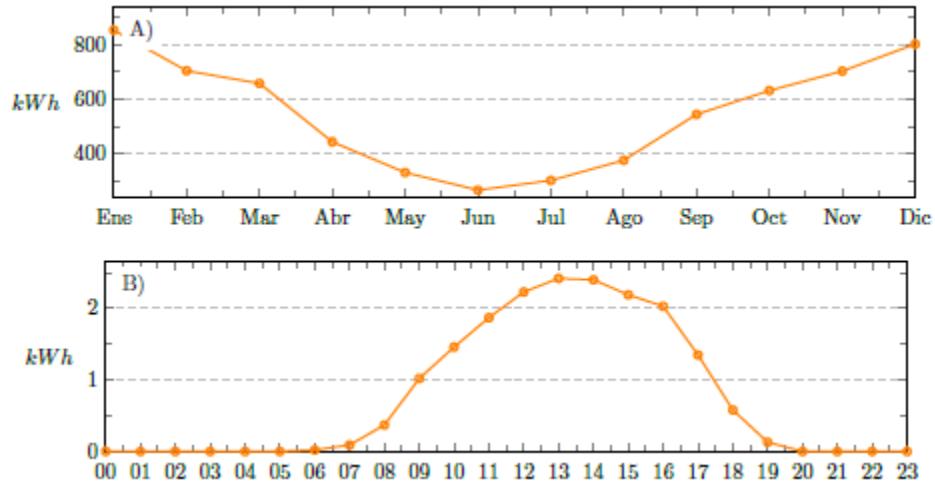


Figura 58: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 30 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

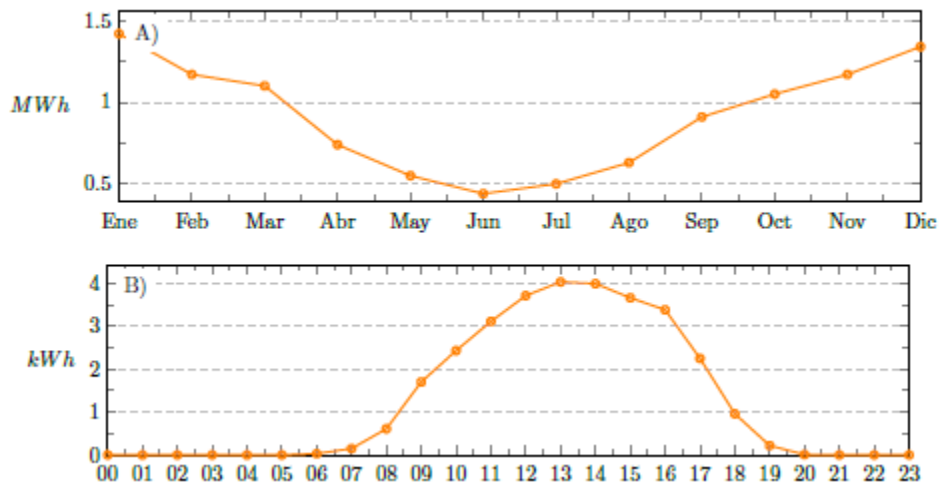


Figura 59: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 50 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

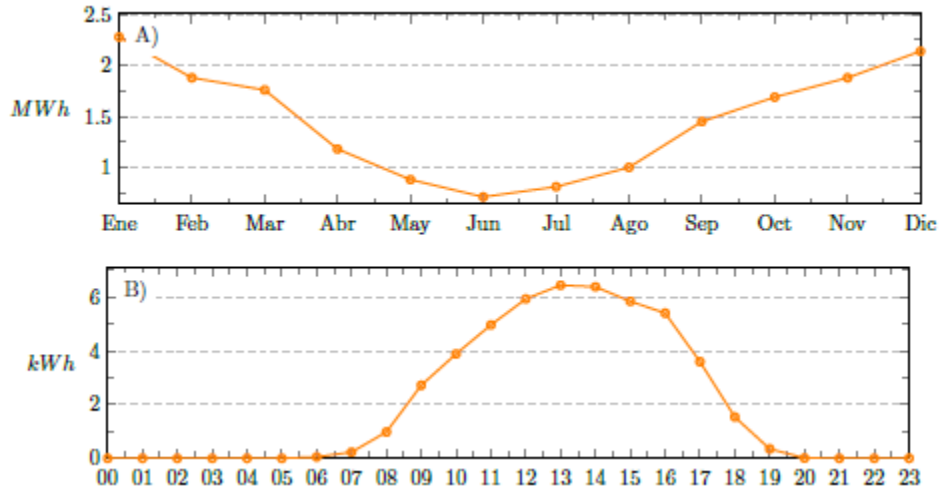


Figura 60: Generación eléctrica en Valdivia con una superficie de 80 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

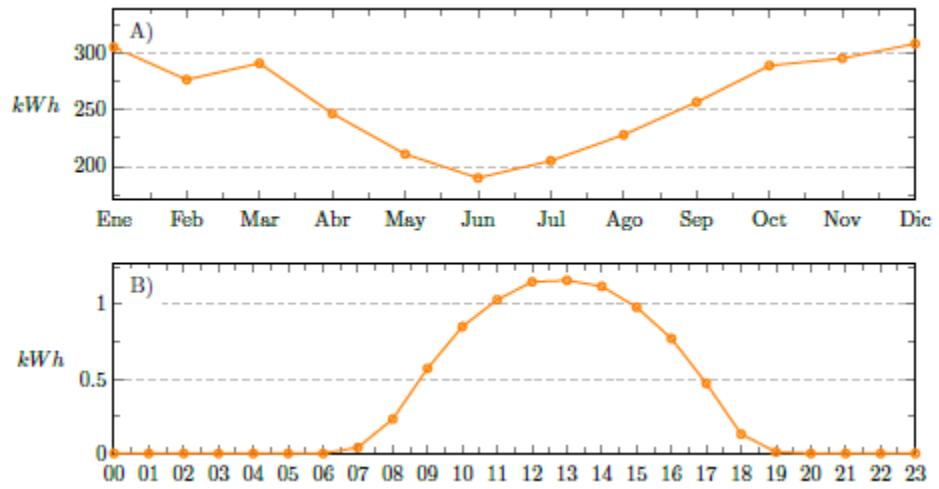


Figura 61: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 10 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

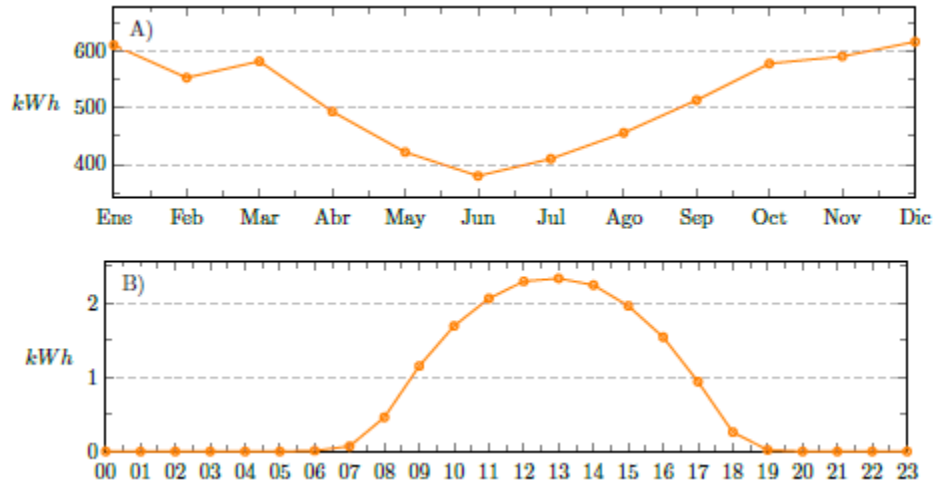


Figura 62: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 20 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

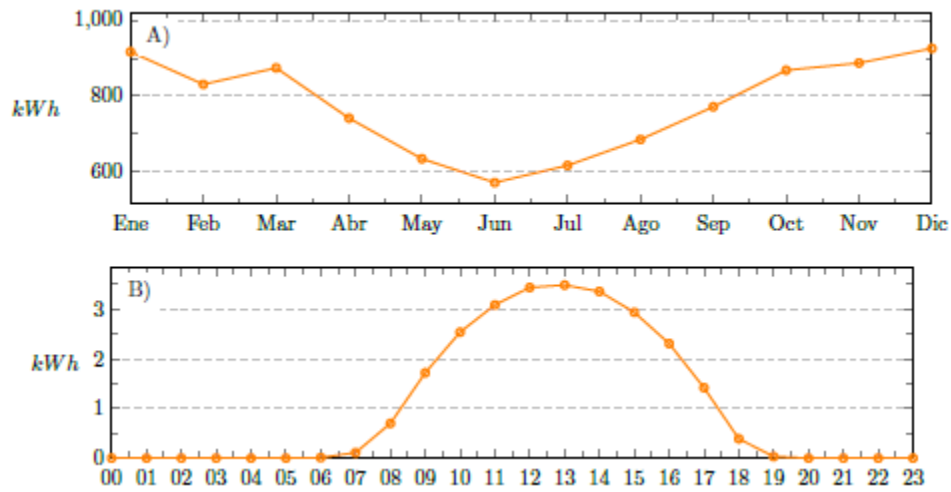


Figura 63: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 30 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

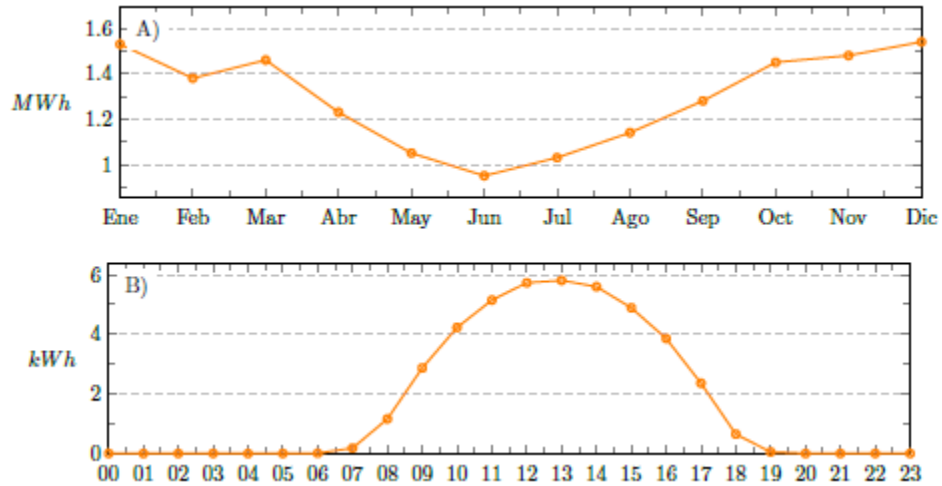


Figura 64: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 50 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario [22].

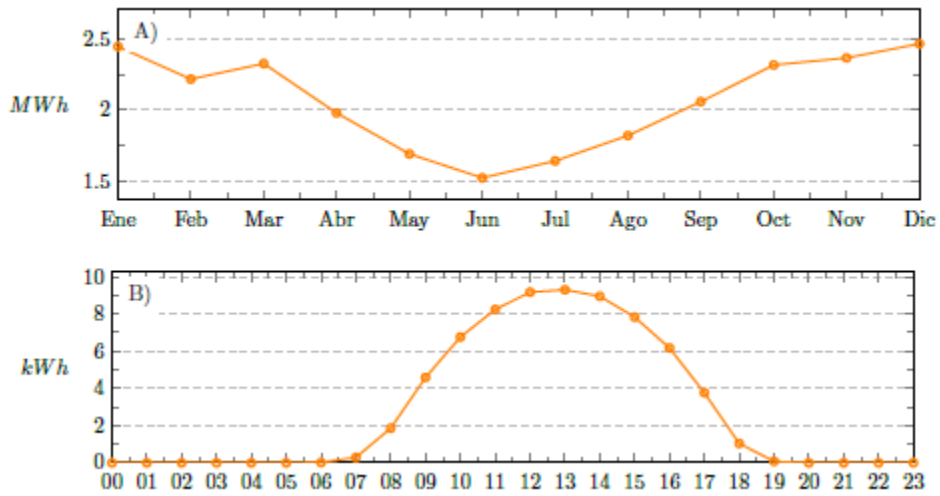


Figura 65: Generación eléctrica en Vicuña con una superficie de 80 m² a) Ciclo anual, B) Ciclo diario. [22].

Anexo 2

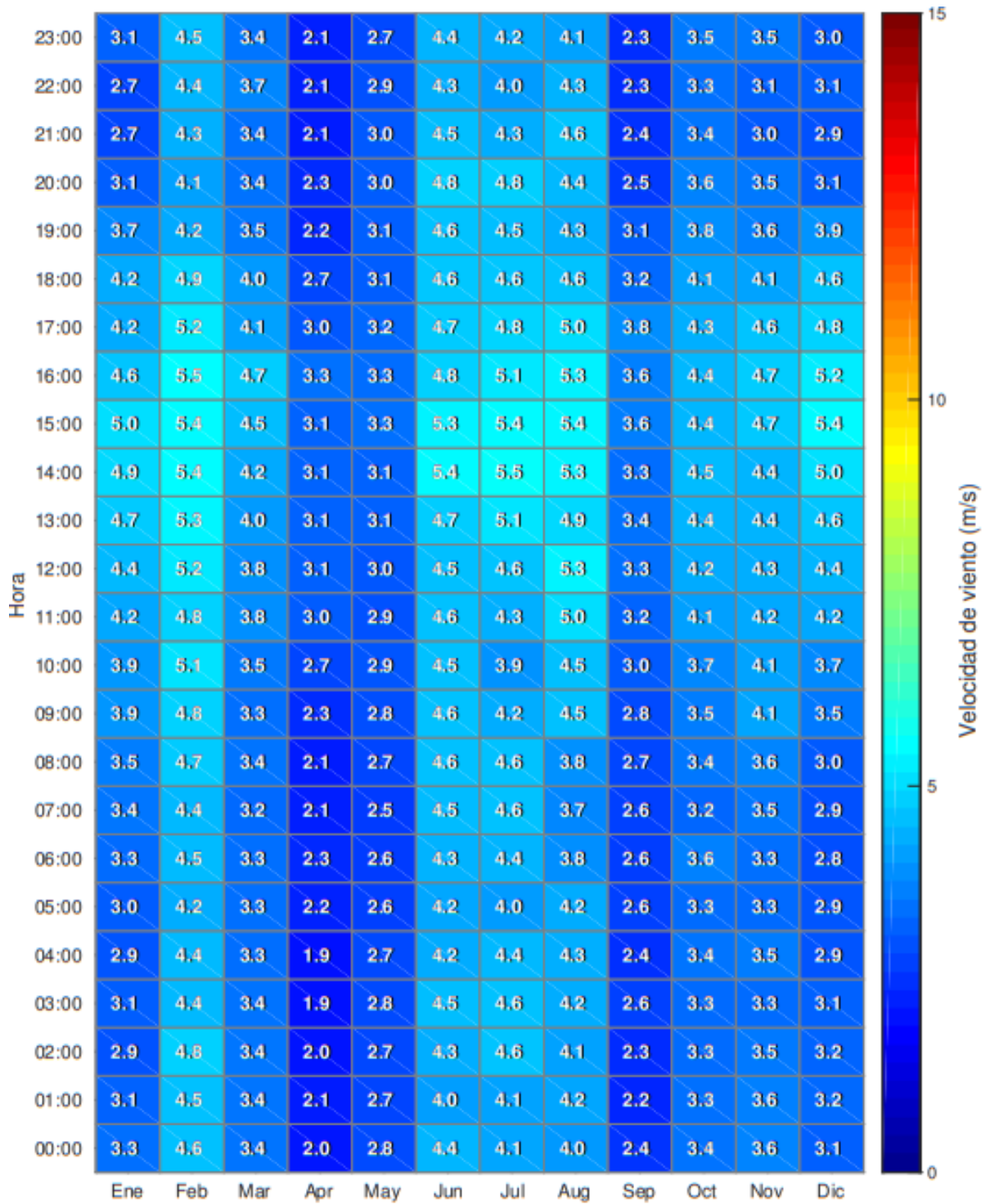


Figura 66: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 15 metros, según la hora del día y mes del año [10].

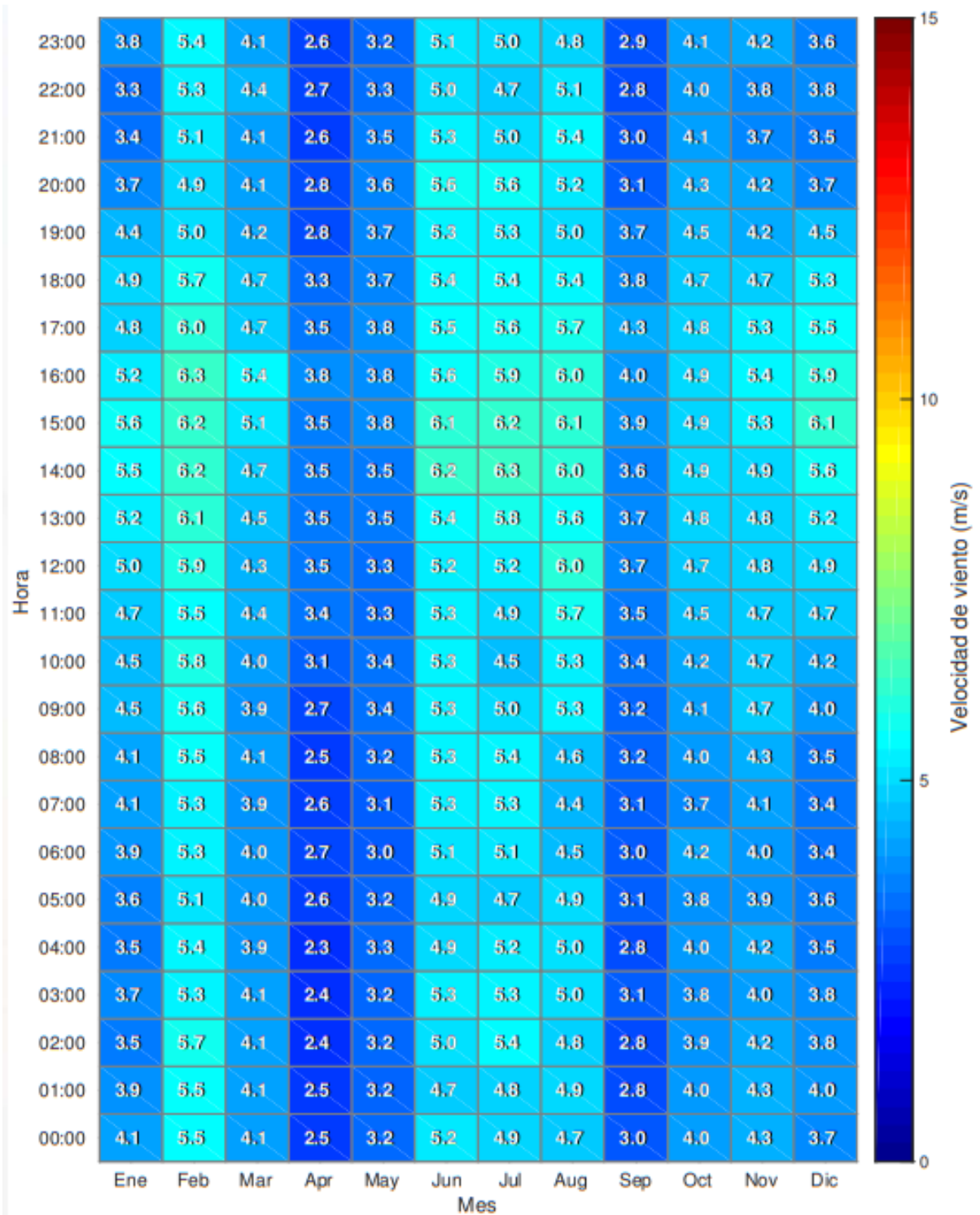


Figura 67: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 25 metros, según la hora del día y mes del año [10].

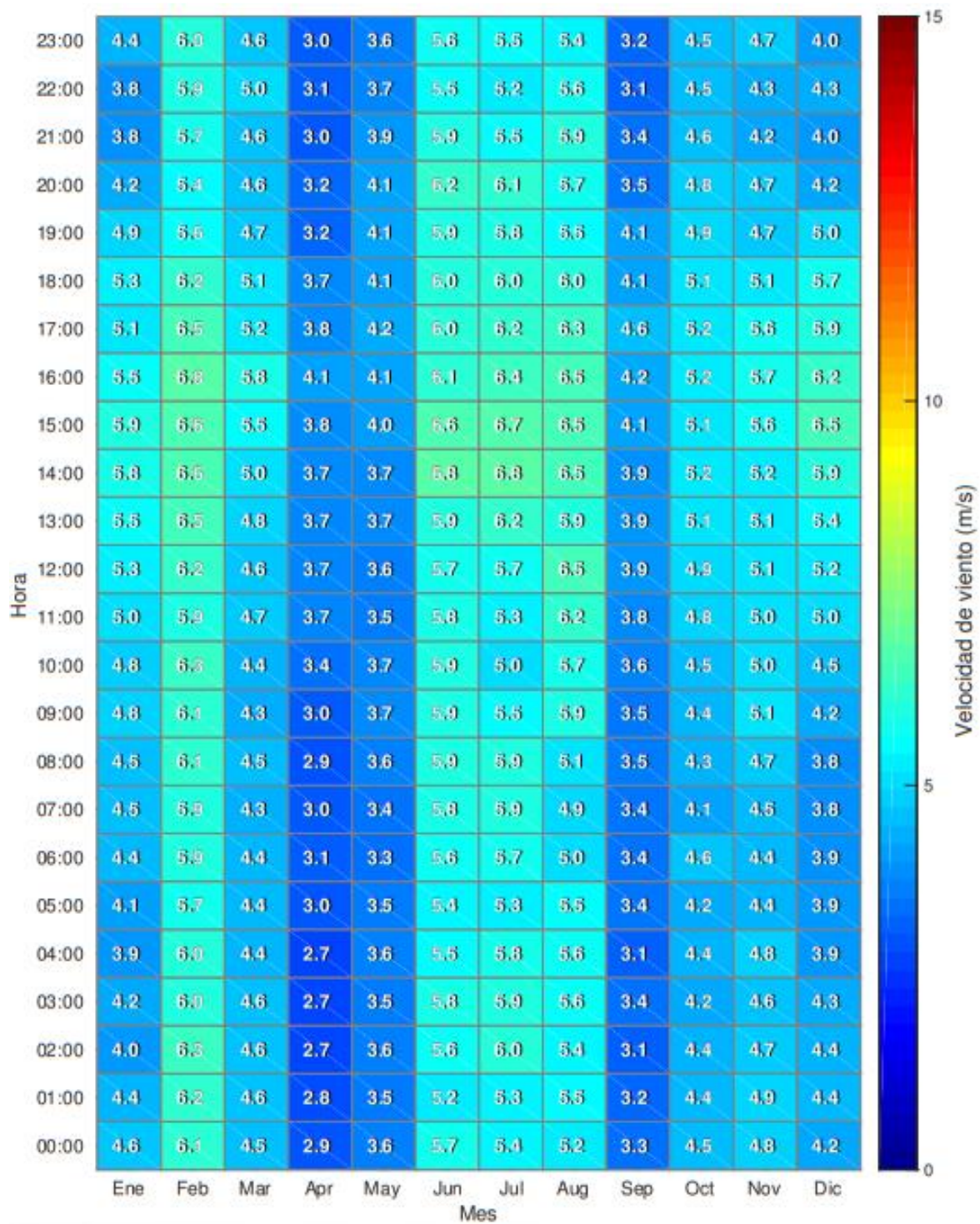


Figura 68: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 36 metros, según la hora del día y mes del año [10].

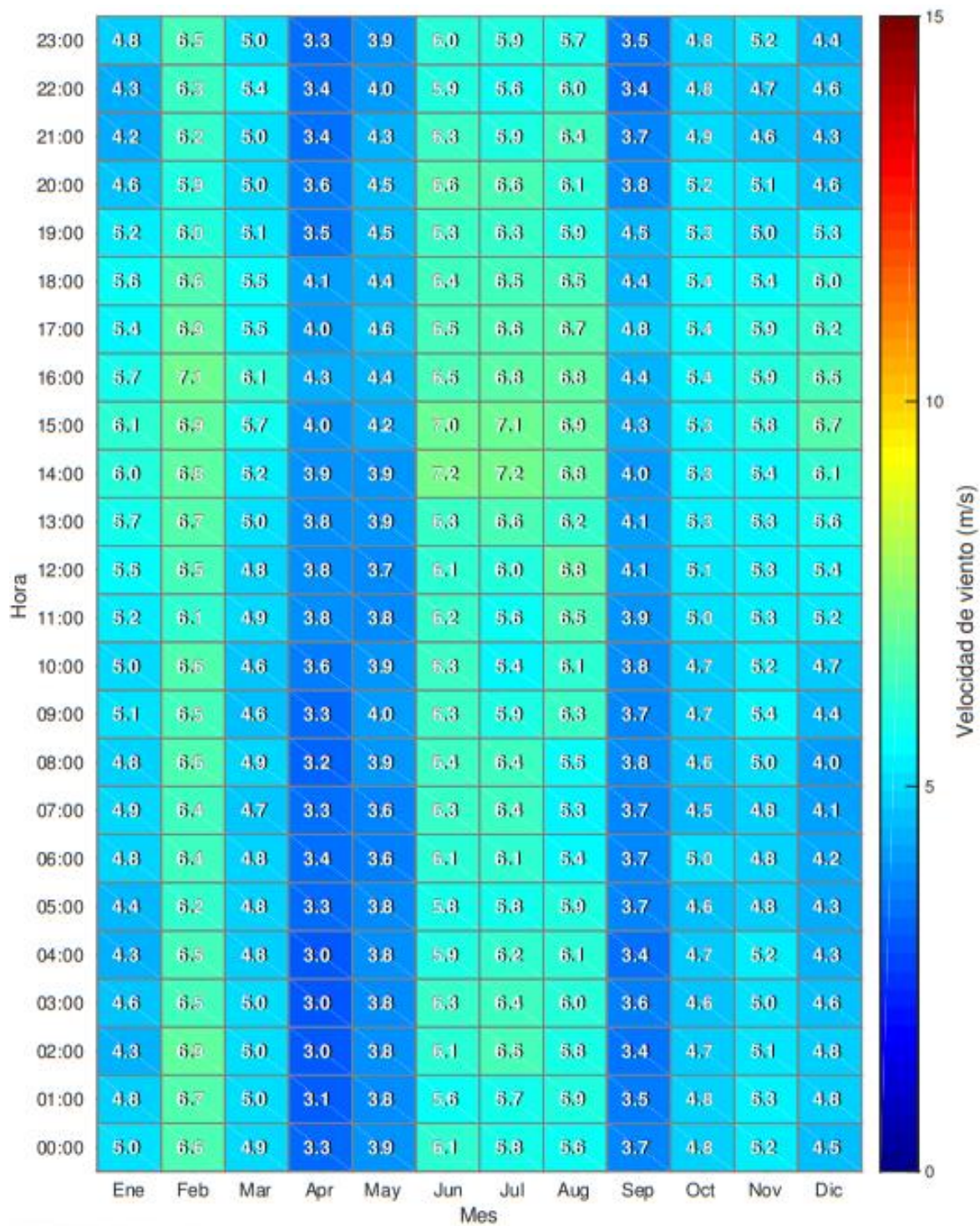


Figura 69: Velocidad promedio de viento en Valdivia a 46 metros, según la hora del día y mes del año [10].

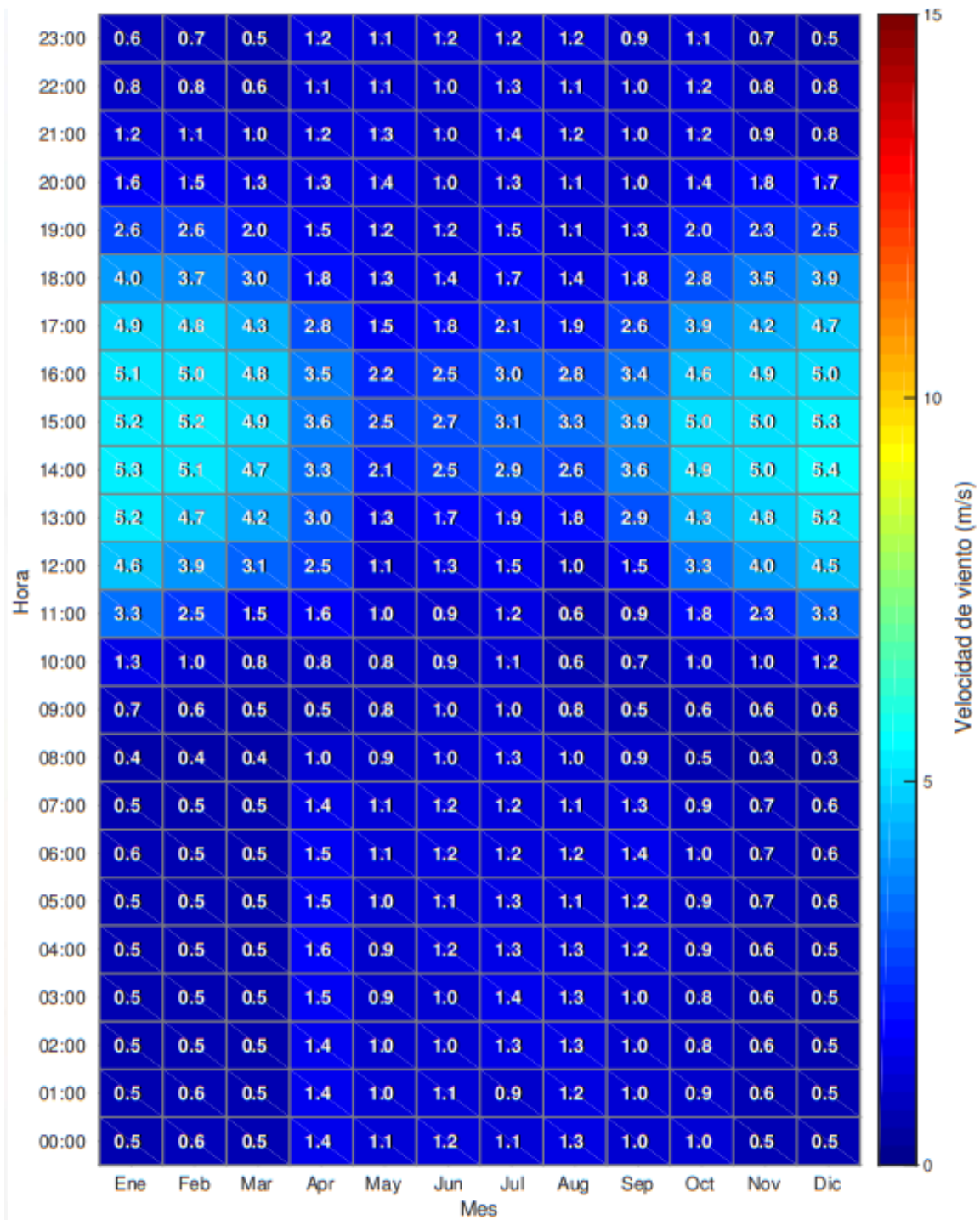


Figura 70: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 17 metros, según la hora del día y mes del año [10].

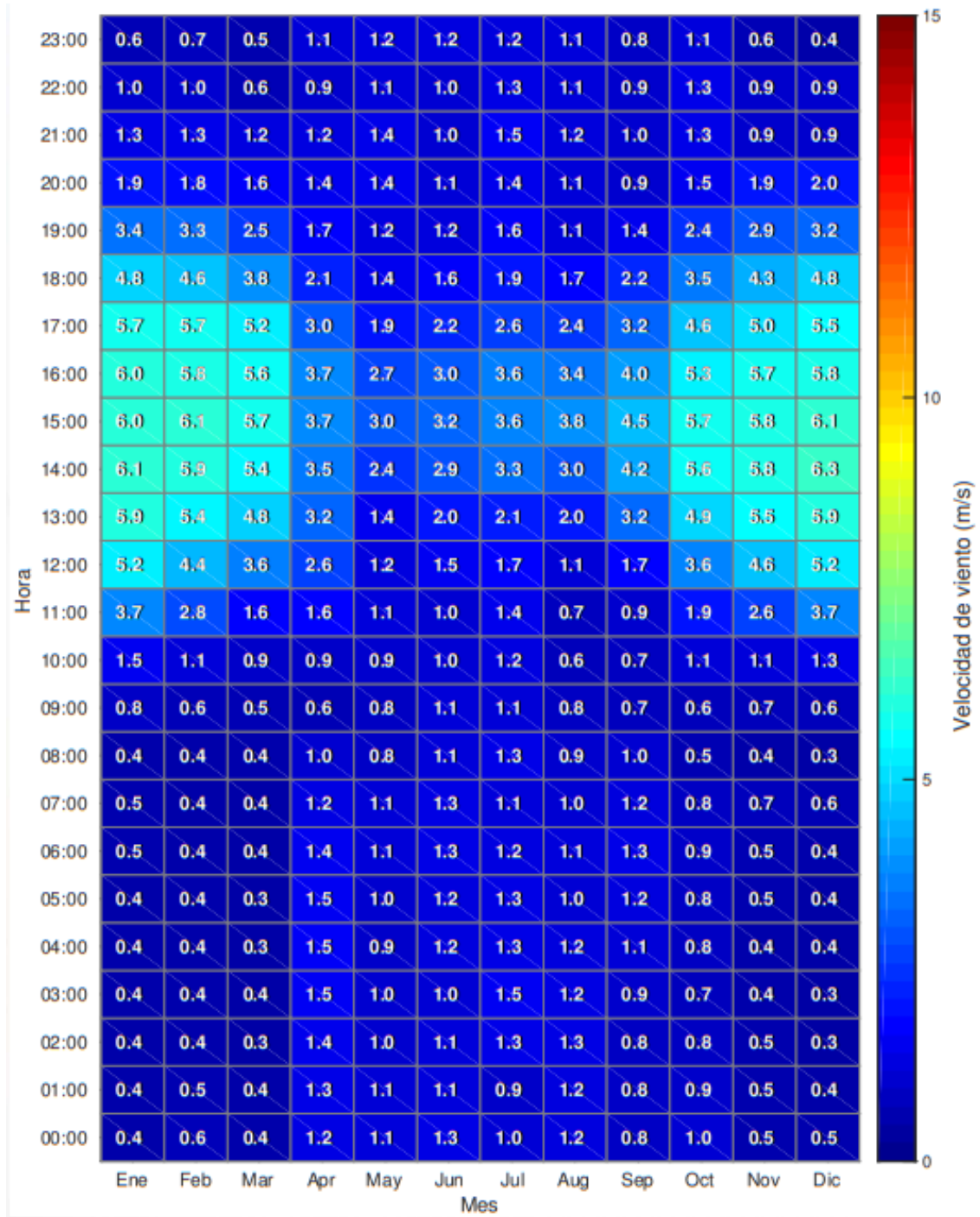


Figura 71: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 27 metros, según la hora del día y mes del año [10].

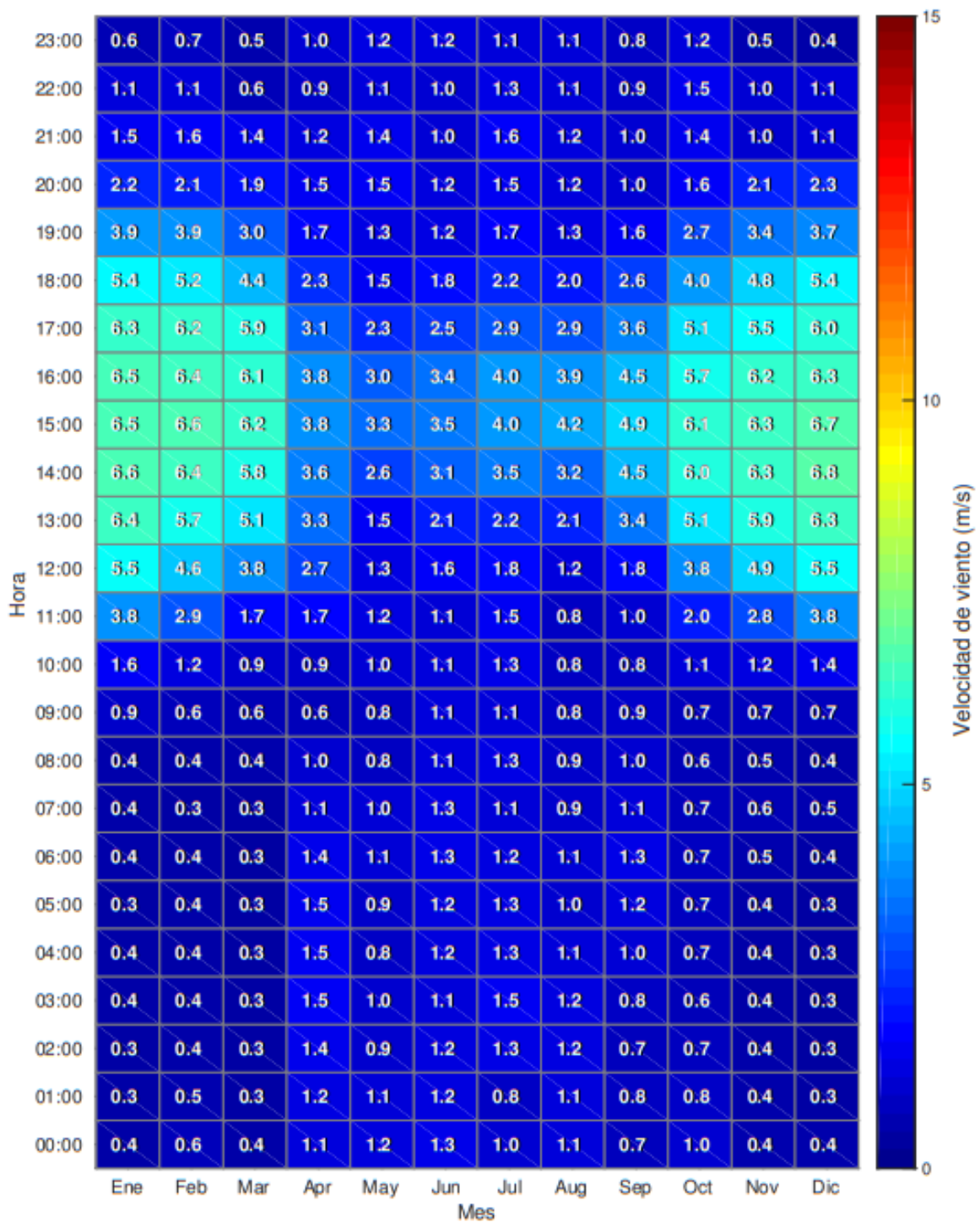


Figura 72: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 37 metros, según la hora del día y mes del año [10].

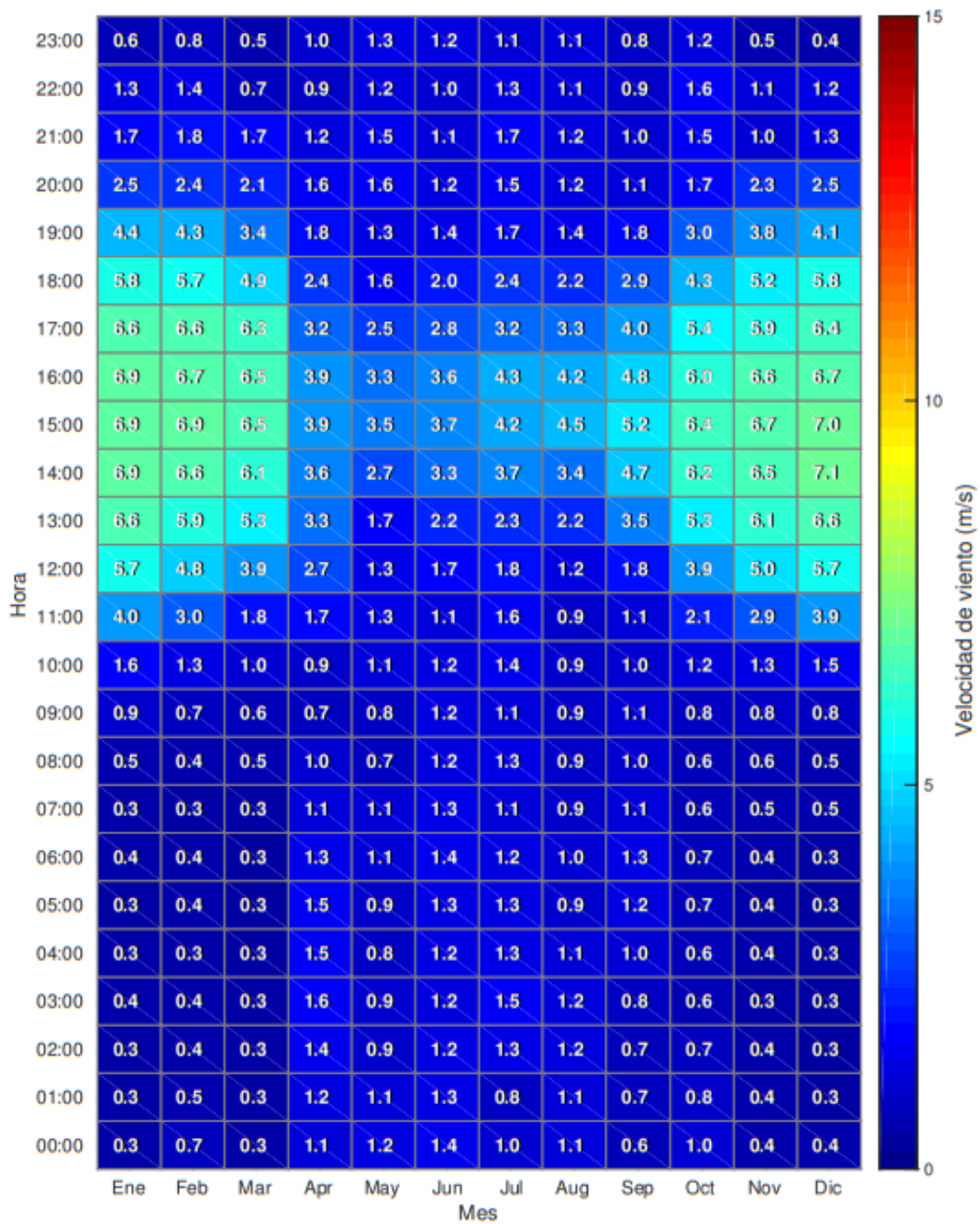


Figura 73: Velocidad promedio de viento en Vicuña a 48 metros, según la hora del día y mes del año [10].

Anexo 3



1 Canadian Solar 315 watt Module Black MC4 CS3K-315MS - 35mm Frame Solar Panel was added to your cart.

Price: \$210.00

1 item in cart

Cart Subtotal: \$210.00

Part No.	Watts	Amps	Volts	Size & Weight
1930029	315W	9.52A	33.1VDC	65.9 × 39.1 × 1.38 in 40.8 lbs

Model : BH60B-164D

UNIT PRICE : 1800USD/PC.

Item :

Date : 2019/10/3

		<u>Hot side</u>	<u>Cold side</u>
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	980.9	985.6
Specific heat capacity	kJ/(kg*K)	4.17	4.17
Thermal conductivity	W/(m*K)	0.655	0.645
Viscosity.inlet	cP	0.282	1.14
Viscosity.outlet	cP	0.895	0.314
Volume flow rate	m ³ /h	3.8	3.6
Inlet temperature	°XC	100.0	15.0
Outlet temperature	°XC	25.0	90.0
Pressure drop	kPa	0.370	0.376
Heat exchanged	kW	313.7	
L.M.T.D.	K	10.0	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² *K)	1352	
O.H.T.C service	W/(m ² *K)	1288	
Heat transfer area	m ²	24.3	
Fouling resistance * 10000	m ² *K/W	0.37	
Duty margin	%	5.0	
Rel. directions of fluids	Countercurrent		
Number of plates		164	
Effective plates		162	
Number of passes		1	1
Plate material / thickness		AISI 316 / 0.50 mm	
Sealing material		EPDM	
Connection size	mm	50.0	50.0
Design/Test pressure	barg	5.0/6.5	5.0/6.5
Design temperature	°XC	100.0	95.0

Performance is conditioned on the accuracy of customer's data and customer's ability to supply equipment and products in conformity therewith.

Genérico

**Lana Vidrio con Aluminio 1 Cara 50mm
1.20x12mt (14.4mt²)**

SKU: 1026141092321



Normal:

\$ 23.633 C/U

DESCRPCIÓN

Su utilización principal es en la aislación térmica de procesos industriales y en viviendas, actuando también como absorbente del sonido en el acondicionamiento acústico ambiental.

MARCA

Genérico

MODELO

1 caras

MEDIDAS

50mm 1.20x12mt (14.4mt²)

TIPO

Lana de fibra de vidrio

PRESENTACIÓN

Rollo

Anexo 4

Estimación de costos de las diferentes turbinas eólicas.

Aerogenerador	Costo [USD]
Proven 15 kW	22155
Proven 6 kW	8862
Proven 2,5 kW	3692,5
Northern Power 100-24	147700
Northern Power 60-23	88620
Endurance G-3120	51695

Anexo 5

Flujo de Caja del
Aerogenerador
Proven 15 en Valdivia.

Proven 15	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingresos	0,00	8416,8	8416,8	8416,739	8416,739	8416,739	8416,739	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8	8416,8
Cuentos variables	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costos fijos	0,00	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34	-312,34
Seguros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ingresos x credito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Depreciacion	0,00	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75	-1.107,75
Perdidas de Capital	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perdidas s/afectado	0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00
UAI	0,00	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71	7.056,71
Impuestos	0,00	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31	1.905,31
LUU	0,00	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40	5.151,40
Depreciacion	0,00	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75	1.107,75
Perdidas de Capital	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perdidas s/afectado	0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00	0,00	-0,00
Flujo Operacional	0,00	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15
Inversion	-22.155,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Prestamo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortizacion	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital de Trabajo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rec. Capital de Trabajo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Flujo Captales	-22.155,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FLUJO DE CAJA	-22.155,00	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15	6.259,15