



DISEÑO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES

Informe Final
preparado por el
Programa de Estudios e Investigaciones en Energía
Instituto de Asuntos Públicos
Universidad de Chile

Para la Comisión Nacional de Energía

Santiago, Diciembre 3 de 2008

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	8
2.	ANTECEDENTES	9
3.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.	10
4.	CARACTERÍSTICAS SOLARIMÉTRICAS DE CHILE CONTINENTAL	11
4.1.	Zona Norte	12
4.2.	Zona Centro	13
4.3.	Zona Austral.....	14
5.	ESTADO DEL ARTE DE TECNOLOGIAS PARA USO RURAL.....	16
5.1.	Sistemas de energía Solar.....	16
5.1.1.	Electrificación rural fotovoltaica en la IV Región de Chile.....	17
5.1.2.	Electrificación solar en Huamanzana, Perú	17
5.1.3.	Clínica de salud con energía fotovoltaica: Chihuahua, México	17
5.1.4.	Centros de salud con energización fotovoltaica: Programa Nacional de Perú.....	18
5.1.5.	Paneles fotovoltaicos para la salud: Chocó, Colombia	18
5.2.	Sistemas de energía eólica	19
5.2.1.	Sistema eólico – diesel, Isla Tac, archipiélago de Chiloé, Chile.....	19
5.2.2.	Proyecto eólico, localidad de Cupo, Región de Antofagasta, Chile	19
5.2.3.	Parque eólico “Estancia Flora”, Empedrado, VII Región, Chile	20
5.2.4.	Proyecto: Electrificación Hogar – Escuela Villa Tehuelches	20
5.2.5.	Proyecto: Electrificación escuela rural de Agua Fresca	21
5.3.	Sistemas energéticos a Biomasa.....	21
5.3.1.	Planta generadora de electricidad en base a biogás en Isla Butachauques, Chile ..	22
5.3.2.	Planta de biogás en Marcos Paz, Argentina	22
5.3.3.	Planta de biogás para planta de generación de electricidad de 10 MW.....	22
5.3.4.	Las Cabras	23
5.3.5.	Empedrado	23
5.3.6.	Coltauco	24
5.4.	Proyectos con refrigeración solar	24
5.4.1.	Simulación de sistema de refrigeración solar para producción autónoma de hielo ..	24
5.4.2.	Refrigerador solar USA	25
5.4.3.	Refrigerador solar con ciclo de absorción intermitente	26
5.4.4.	Refrigerador solar por adsorción para producción de hielo	27
6.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	29
6.1.	Funcionamiento de un sistema suministrado por ERNC	29
6.2.	Proyectos solares	30
6.2.1.	Proyectos solares en corriente alterna	32
6.2.2.	Proyectos solares en corriente continua.....	36
6.3.	Proyectos eólicos.....	39

6.4.	Proyectos utilizando biomasa.....	43
6.4.1.	Insumos para alimentar el biodigestor	43
6.4.2.	El biodigestor	45
6.4.3.	Ventajas e Inconvenientes de los Biodigestores	46
7.	CASOS DE ESTUDIO.....	48
7.1.	Diseño de un sistema doméstico para un refrigerador convencional (250 litros).....	48
7.1.1.	Almacenamiento de energía y regulación de carga	49
7.1.2.	Captadores solares.....	50
7.1.3.	Captadores eólicos	52
7.2.	Diseño de un sistema doméstico para un frigobar (130 litros)	54
7.3.	Diseño de un sistema de refrigeración residencial de corriente continua, alimentado por paneles fotovoltaicos.....	56
7.4.	Diseño de un sistema de refrigeración residencial alimentado por biodigestores	57
7.5.	Diseño de un sistema comercial de fabricación de hielo	59
7.5.1.	Utilización de una máquina productora de hielo en escamas	59
7.5.2.	Utilización de un frigorífico en el cual se congele líquido (cubos de hielo)	61
7.6.	Diseño de una bodega refrigerada para fines productivos.....	62
7.7.	Diseño de bodega refrigerada para fines productivos	63
7.7.1.	Calor debido a intercambio de paredes con el espacio exterior	63
7.7.2.	Calor debido a intercambio térmico con productos y calor de respiración.....	64
7.7.3.	Calor debido a cambio de aire	65
7.7.4.	Calor producido por motores eléctricos.....	65
7.7.5.	Calor producido por luces y personas.....	66
7.7.6.	Calor total	66
7.7.7.	Características del compresor.....	67
7.8.	Cálculos de consumo de electricidad.	67
8.	GESTIÓN LOCAL PARA LA OPERACIÓN Y ADMINISTRACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS EQUIPOS	70
8.1.	Sistemas destinados a actividades productivas	70
8.2.	Sistemas destinados a sectores residenciales	71
8.2.1.	Proyectos solares	71
8.2.2.	Proyectos eólicos	72
8.2.3.	Proyectos con biomasa	73
8.2.4.	Mantenimiento del compresor en una bodega refrigerada	75
9.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS	77
9.1.	Análisis económico de un sistema fotovoltaico para un refrigerador doméstico convencional (250 litros).....	78
9.1.1.	Sistemas fotovoltaicos, alternativa 1	79
9.1.2.	Sistemas fotovoltaicos, alternativa 2.....	79
9.1.3.	Sistemas eólicos.....	80
9.2.	Análisis económico de un sistema doméstico para un frigobar (130 litros).....	80

9.3. Análisis económico de un sistema doméstico en corriente continua, alimentado por paneles fotovoltaicos	81
9.4. Análisis económico de un sistema a biogás para un refrigerador doméstico a gas (215 litros).	82
9.5. Análisis económico de un sistema comercial de fabricación de hielo	84
9.5.1. Análisis económico de una máquina productora de hielo en escamas	84
9.5.2. Análisis económico de un frigorífico en CC para la fabricación de hielo	85
9.5.3. Análisis económico para una bodega refrigerada.....	85
10. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	90
11. BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXO 1: INFORMACIÓN CLIMÁTICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS O PARA SISTEMAS EÓLICOS	94
ANEXO 2: CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA CÁMARA DE MANTENCIÓN DE FRÍO.....	98
ANEXO 3: PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL DISEÑO DE LA BODEGA DE ALMACENAMIENTO	101
ANEXO 4: REQUERIMIENTOS DE FRÍO PARA DISTINTOS PRODUCTOS.....	107
ANEXO 5: CARACTERÍSTICAS EÓLICAS DE CHILE	108
ANEXO 6: REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN	110
A. Refrigeración por absorción	110
B. Refrigeración por adsorción	112
ANEXO 7: REVISIÓN DE MÉTODOS ALTERNATIVOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA..	114
A. Celdas de Combustible	114
B. Batería Inercial o Volantes de Inercia.....	114
ANEXO 8: CARACTERÍSTICAS DE BIODIGESTORES Y REFRIGERADORES A GAS.....	116
Tipos de Biodigestores.....	117
ANEXO 9: FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA ALIMENTADO POR UN GENERADOR ELÉCTRICO	121
A. Consideraciones a tomar en cuenta al utilizar equipos de generación.....	122
B. Diseño de un sistema doméstico para un refrigerador convencional (250 litros).....	123
C. Diseño de un sistema doméstico para un frigobar (130 litros)	124
D. Diseño de un sistema de refrigeración residencial de corriente continua	125
E. Diseño de un sistema comercial de fabricación de hielo	125
1. Utilización de una máquina productora de hielo en escamas	125
2. Utilización de un frigorífico en el cual se congela líquido (cubos de hielo)	127

F. Diseño de una bodega refrigerada para fines productivos.....	127
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa solarimétrico de Chile.....	11
Figura 2: Mapa solarimétrico de la Zona Norte	13
Figura 3: Mapa solarimétrico de la Zona Central.....	14
Figura 4: Mapa solarimétrico de la Zona Austral	15
Figura 5: Instalación de Sistema Eólico en localidad de Cupo, Región de Antofagasta.....	20
Figura 5: Biodigestor, Comuna de Empedrado, Región del Maule, Chile.....	23
Figura 7: Esquema del sistema de refrigeración en doble etapa térmico-mecánico asistido por energía solar.	25
Figura 8: Prototipo de refrigerador solar.....	26
Figura 9: Prototipo de refrigerador solar por absorción intermitente, Colombia	27
Figura 10: Potencia demandada por un refrigerador en las partidas	34
Figura 11: Esquema de un sistema fotovoltaico para suministro de corriente alterna	35
Figura 12: Sistema solar de suministro para un frigobar	35
Figura 13: Diseño de un sistema de refrigeración en corriente continua.....	36
Figura 14: Diseño de un sistema de refrigeración en corriente continua.....	37
Figura 15: Esquema de interconexión para un sistema de suministro de corriente continua	38
Figura 16: Sistema de producción de hielo con energía solar	39
Figura 17: Variación porcentual de la potencia del viento según la altura.....	41
Figura 18: Índices de deformación de Griggs-Putnam y velocidad del viento asociada.....	42
Figura 19: Sistema de domestico convencional de refrigeración de alimentos, suministrado con energía eólica.....	43
Figura 20: Intensidad de radiación solar a lo largo del año en la localidad de Quillayal, Región Metropolitana	50
Figura 21: Energía entregada mensualmente por cada panel considerado, localidad de Quillayal....	51
Figura 22: Energía entregada mensualmente por cada panel considerado, localidad de Quiyayal ...	54
Figura 23: Evolución de la velocidad del viento en un año a lo largo del borde costero chileno	108
Figura 26: Esquema del ciclo de absorción de un refrigerador	111
Figura 6: Esquema de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción, funcionando con energía solar	112
Figura 24: Características del biogás.....	116
Figura 25: Digestor de domo fijo usado en China.....	118
Figura 26: Digestor Janata con domo fijo	119
Figura 27: Digestor tubular de polietileno	120
Figura 28: Esquema de conexión de un sistema alimentado por un generador tradicional.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características solarimétricas y térmicas de algunas ciudades	12
Tabla 2: Número de viviendas por región que se abastecen de electricidad con sistemas fotovoltaicos	16

Tabla 3: Datos climáticos de Tocopilla y Punta Arenas.....	31
Tabla 4: Potencia en W entregada por distintos panel a distintos niveles de irradiación, a 25°C.....	31
Tabla 5: Potencia entregada por cada panel a distintos niveles de temperatura, radiación de 1 kW/m2	31
Tabla 6: Energía mensual, en kWh/mes, entregada por turbina a distintas velocidades de viento	40
Tabla 7: Producción de biogás por tipo de residuo animal.	44
Tabla 8: Producción de biogás a partir de residuos vegetales.	45
Tabla 9: Características de refrigeradores.....	48
Tabla 10: Características de paneles solares	49
Tabla 11: Características de paneles solares	50
Tabla 12: Costo del sistema solar, Alternativa 1	51
Tabla 13: Costo del sistema solar, Alternativa 2	52
Tabla 14: Costo del sistema eólico, Alternativa 1	53
Tabla 15: Costo del sistema eólico, Alternativa 2	53
Tabla 16: Características de paneles solares	54
Tabla 17: Características de inversores/reguladores de carga	55
Tabla 18: Características de baterías	55
Tabla 19: Costo del sistema fotovoltaico, Alternativa 1	56
Tabla 20: Costo del sistema fotovoltaico, Alternativa 2	56
Tabla 21: Costo del sistema de refrigeración en corriente continua, alimentado con paneles fotovoltaicos	57
Tabla 22: Características refrigeradores a gas	58
Tabla 23: Tamaño requerido de un biodigestor según los requerimientos de gas	59
Tabla 24: Costo del sistema eólico de fabricación de hielo en escamas.....	61
Tabla 25: Costo del sistema de refrigeración en corriente continua, alimentado con paneles fotovoltaicos	62
Tabla 26: Dimensiones de la bodega de almacenamiento en metros, según capacidad	63
Tabla 27: Calor debido a intercambio de paredes, techo y piso en kcal/hr,	64
Tabla 28: Calor debido a enfriamiento y respiración de productos (en kcal/hr) según ciudad y carga	65
Tabla 29: Calor producido por renovaciones de aire (en kcal/hr)	65
Tabla 30: Cargas máxima y media bajo condiciones extremas para las bodegas refrigeradas en kcal/hr	66
Tabla 31: Características del compresor utilizado en las bodegas refrigeradas	67
Tabla 32: Consumo de eléctrico mensual de una bodega refrigerada en Antofagasta, en kWh/mes.	68
Tabla 33: Consumo de eléctrico mensual de una bodega refrigerada en Santiago, en kWh/mes	69
Tabla 34: Consumo de eléctrico mensual de una bodega refrigerada en Puerto Montt, en kWh/mes	69
Tabla 35: Rangos óptimos de los parámetros de producción de biogás.	75
Tabla 36: Tabla de Mantenimiento Preventivo	76
Tabla 37: Evaluación económica para un sistema fotovoltaico, alternativa 1	79
Tabla 38: Evaluación económica para un sistema fotovoltaico, alternativa 2	79
Tabla 39: Evaluación económica para un refrigerador convencional suministrado con un sistema eólico, Alternativa 1.....	80
Tabla 40: Evaluación económica para un refrigerador convencional suministrado con un sistema eólico, Alternativa 2.....	80
Tabla 41: Evaluación económica para un frigobar, alternativa 1	81

Tabla 42: Evaluación económica para un frigobar, alternativa 2	81
Tabla 43: Evaluación económica para un refrigerador doméstico en CC	82
Tabla 44: Evaluación económica refrigerador a biogas.....	83
Tabla 45: Resumen de costos para equipos residenciales.....	83
Tabla 46: Análisis económico fabrica de hielo en escamas.....	84
Tabla 47: Evaluación económica de un sistema en CC de fabricación de hielo	85
Tabla 48: Energía producida por una turbina Whisper 500 en Antofagasta y Puerto Montt y la requerida para el funcionamiento continuo de las bodegas refrigeradas	86
Tabla 49: Costos de la bodega refrigerada suministrada por una turbina eólica	86
Tabla 50: Evaluación económica de una bodega refrigerada, caso Antofagasta	87
Tabla 51: Evaluación económica de una bodega refrigerada, caso Puerto Montt.....	87
Tabla 52: Kilos de fruta enfriados por el sistema eólico en bodegas refrigeradas chicas en Antofagasta y Puerto Montt.....	88
Tabla 53: Resumen costos sistemas para suministro de actividades productivas	88
Tabla 54: Temperatura del aire, en °C	94
Tabla 55: Radiación solar diaria horizontal kWh/(m ² · día)	95
Tabla 56: Velocidad del viento a 10 metros del suelo, en m/s	96
Tabla 57: Temperaturas promedio para Antofagasta, Santiago y Puerto Montt, en °C	101
Tabla 58: Propiedades térmicas de algunos productos agrícolas	101
Tabla 59: Calores de respiración a diferentes temperaturas de algunos productos agrícolas.....	102
Tabla 60: Cambios de aire considerados en función del tamaño del recinto	102
Tabla 61: Equivalente calorífico para motores eléctricos	103
Tabla 62: Calor equivalente por persona según temperatura de operación	103
Tabla 63: Factores de utilización considerados para el diseño de las bodegas refrigeradas en Antofagasta.....	103
Tabla 64: Requerimientos de calor para las bodegas refrigeradas en Antofagasta, en kcal/hr	104
Tabla 65: Factores de utilización considerados para el diseño de las bodegas refrigeradas en Santiago	104
Tabla 66: Requerimientos de calor para las bodegas refrigeradas en Santiago, en kcal/hr	105
Tabla 67: Factores de utilización considerados para el diseño de las bodegas refrigeradas en Santiago	105
Tabla 68: Requerimientos de calor para las bodegas refrigeradas en Puerto Montt, en kcal/hr	106
Tabla 69: Consumo de biogás para algunas actividades	117
Tabla 70: Tamaño requerido de un biodigestor según los requerimientos de gas	120
Tabla 71: Características de las baterías	123
Tabla 72: Costo del sistema con generador eléctrico para un refrigerador de 250 litros.....	124
Tabla 73: Costo del sistema con generador eléctrico para un frigobar	124
Tabla 74: Costo del sistema con generador eléctrico para un refrigerador que funciona con corriente continua.....	125
Tabla 75: Costo del sistema con generador eléctrico para una fabricadora de hielo en escamas ...	126
Tabla 76: Costo del sistema con generador eléctrico para un freezer que funciona con corriente continua.....	127
Tabla 77: Costo del sistema con generador eléctrico para una bodega refrigerada.....	128

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Energía diaria que es capaz de entregar un panel fotovoltaico.....	32
Ecuación 2: Cantidad de paneles necesarios para suministrar una determinada carga	32
Ecuación 3: Estimación de la cantidad de baterías necesarias.....	33
Ecuación 4: Cálculo de la energía nominal almacenada en una batería.....	33
Ecuación 5: Cálculo del factor de utilización para las bodegas refrigeradas	68
Ecuación 6: Consumo de energía de las bodegas refrigeradas.....	68
Ecuación 7: Determinación del volumen del biodigestor en función del tiempo de retención	74
Ecuación 8: Calor transmitido por la envolvente de la bodega.....	98
Ecuación 9: Cálculo del coeficiente de transmisión de calor	98
Ecuación 10: Calor entregado por un producto al ser enfriado, sin llegar al congelamiento	99
Ecuación 11: Calor entregado por un producto al ser congelado.....	99
Ecuación 12: Calor perdido por cambio de aire.....	100
Ecuación 13: Cálculo del factor de utilización	100

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se detalla, para sistemas de refrigeración tanto residencial como para pequeños productores, una serie de alternativas de suministro a través de energías renovables no convencionales. Además, se presenta una serie de experiencias con ERNC que han resultado exitosas en distintos países.

Por otro lado, se dan las bases de una metodología de dimensionamiento de proyectos, lo que sirve como herramienta de decisión a la hora de evaluar un proyecto en un sector determinado.

Pensando en el sector residencial, se presenta una serie de alternativas, de variados costos, tamaños y tecnologías. Los casos desarrollados pretenden, para ciertas condiciones climáticas, dar una idea de los costos de inversión y de operación de los sistemas proyectados.

Cabe destacar que el hecho de que un sistema sea presentado como una alternativa residencial, no significa que no pueda considerarse como solución para una actividad productiva. Por ejemplo, si un pequeño productor necesita mantener quesos refrigerados, puede hacerlo en un refrigerador convencional, en un frigobar, o en un refrigerador de que funcione con corriente continua.

Para el sector productivo, en particular, se aborda el caso de la producción de hielo para la conservación en buenas condiciones, de pescado. Para este caso se tratan 2 sistemas con requerimientos y costos, muy diferentes, como son, una máquina productora de hielo en escamas y un freezer que funciona con corriente continua.

Además, se considera el diseño y utilización de bodegas refrigeradas. Para evaluar el comportamiento de éstas se consideran 3 tamaños diferentes (200 kg, 350 kg y 500 kg), además de las condiciones climáticas de 3 ciudades distintas (Antofagasta, Santiago y Puerto Montt), ubicadas en distintas zonas geográficas del país.

2. ANTECEDENTES

La Comisión Nacional de Energía ha creado el Programa de Fomento a las Energías Renovables No Convencionales, ERNC, con el objeto de fomentar las inversiones públicas en proyectos de generación eléctrica con ERNC y, por otro lado, entregar soluciones sustentables a diversos problemas energéticos, en especial a aquellos que se presentan en zonas aisladas y rurales, donde el acceso a fuentes tradicionales de energía es escaso o de alto costo.

Uno de los objetivos del Programa de Fomento a las ERNC consiste en entregar un abastecimiento energético equitativo, seguro, de calidad y sustentable en zonas aisladas y rurales, lo que permite aumentar las posibilidades de desarrollo productivo lo que conlleva a un mejoramiento de las condiciones de vida, desde una perspectiva energética integral, el que, además, significará una disminución de la emigración hacia las ciudades.

En el contexto anterior, la Comisión Nacional de Energía y el Programa de Fomento a las ERNC, ha hecho un llamado para elaborar un estudio cuyo objetivo central consiste en diseñar sistemas de refrigeración y producción de hielo basados en el uso de ERNC para satisfacer las demandas actuales y futuras vinculadas con actividades productivas de comunidades rurales, además de aumentar la calidad de vida de las familias entregando un sistema capaz de suministrar los consumos de un refrigerador para uso residencial.

Dentro del contexto de las energías renovables no convencionales que considera este estudio, se puso especial énfasis, a las siguientes:

- a) Refrigeración usando energía solar
- b) Refrigeración usando energía eólica
- c) Refrigeración usando biogás

El suministro de energía depende, en general, de los recursos que se dispongan en la zona en que se pretende entregar el abastecimiento, mientras que el sistema de refrigeración depende del uso que se dé al frío producido. En algunos casos, se requiere frío para mantener frescos productos lácteos (leche, quesos, por ejemplo), en otros frutos y alimentos vegetales (berries, frutillas, por ejemplo). En otros casos, se requerirá la fabricación de hielo, como por ejemplo en caletas pesqueras.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

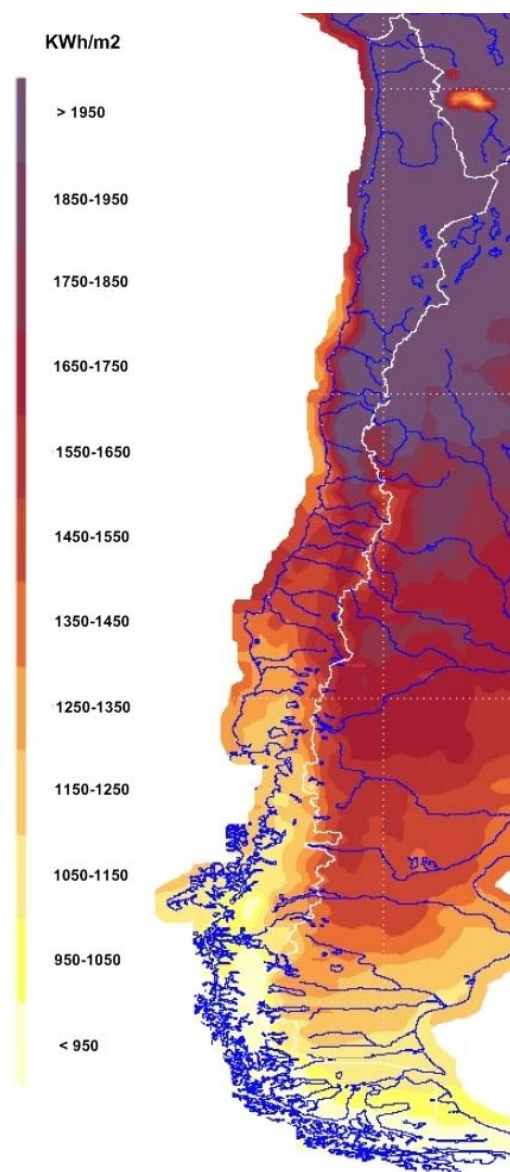
De acuerdo a los términos de referencia del proyecto, los objetivos específicos a cumplir son los siguientes:

- a) Diseñar sistemas de refrigeración y de producción de hielo que permitan la mantención de alimentos a escalas productivas pequeñas, tanto de alimentos frescos como procesados mediante el uso de ERNC.
- b) Diseñar sistemas considerando la zona geográfica de uso, lo que limitará el tipo de ERNC a utilizar.
- c) Evaluar económicamente cada una de las soluciones.
- d) Realizar propuestas de gestión local para la administración y mantención de los sistemas.

4. CARACTERÍSTICAS SOLARIMÉTRICAS DE CHILE CONTINENTAL

Considerando las características y extensión del territorio chileno, es posible dividirlo en 3 zonas de índices solarimétricos relativamente similares, como es posible observar en la Figura 1.

Figura 1: Mapa solarimétrico de Chile



Fuente: Meteotest; database Meteonorm

Para ejemplificar las variaciones según la ubicación geográfica de los parámetros climáticos y solarimétricos, se muestra la Tabla 1, donde se aprecian las diferencias entre variaciones estacionales de la temperatura media mensual y de la radiación media diaria mensual solar para las ciudades de Antofagasta y Puerto Montt.

Tabla 1: Características solarimétricas y térmicas de algunas ciudades

	Antofagasta	Puerto Montt
Radiación kWh/(m ² -día)		
Junio	3.170	1.450
Diciembre	7.170	6.740
Temperatura media mensual °C		
Julio	13,4	6,5
Diciembre	21,1	14,3

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Meteotest e Instituto de Meteorología de Chile

De la tabla anterior se aprecia la necesidad de realizar un análisis separado según zonas geográficas, el cual se realiza a continuación.

4.1. Zona Norte

Esta zona está localizada entre la frontera Norte con Perú y la ciudad de Copiapó, la cual se caracteriza por presentar radiaciones similares a lo largo de toda su extensión. El sector costero, presenta radiaciones mayores a 1.950 kWh/m², los cuales disminuirán levemente en sectores cercanos a la ciudad de Copiapó. Por otro lado, los sectores de los valles centrales y cordilleranos, presentan una radiación constante durante toda la extensión del Norte Grande, caracterizándose por presentar valores superiores a 1.950 kWh/m².

Un factor importante a considerar es la estacionalidad de los índices. Tanto la radiación como la temperatura alcanzan sus valores máximos en la temporada de verano, y los mínimos durante el invierno. Se puede observar para esta zona, que la radiación puede llegar a disminuir entre un 40% y un 60% durante la temporada invernal.

Las temperaturas promedio de la zona norte presentan grandes diferencias estacionales dependiendo del sector en el que se encuentre la localidad a analizar. Para el sector costero las temperaturas difieren en un 40% entre temporadas cálidas y frías, alcanzando promedios entre 15°C y 19°C anuales. Estas variaciones aumentan al acercarse al sector cordillerano, donde las diferencias llegan a ser cercanas al 70%, debido a la magnitud de la disminución de temperatura durante la temporada invernal.

Figura 2: Mapa solarimétrico de la Zona Norte



Fuente: Meteotest; database Meteonorm

4.2. Zona Centro

La segunda zona comprende el territorio entre las ciudades de Copiapó y Valdivia. Se caracteriza por radiaciones que oscilan entre los 1.250 y los 1.550 kWh/m² en el sector costero, mientras que en los valles centrales, los valores para la radiación oscilan entre magnitudes superiores a 1.950 y los 1.250 kWh/m², manteniendo mayores índices en las zonas nortinas y disminuyendo desde la Región de Valparaíso al sur.

En el sector cordillerano, se puede observar un comportamiento similar al del valle central, siendo en las zonas más nortinas, superiores a 1.950 kWh/m², y disminuyendo hasta alcanzar magnitudes de 1.450 kWh/m².

Acerca de la estacionalidad de la radiación, se puede afirmar que esta diferencia aumenta progresivamente a medida que aumenta la latitud, presentando variaciones que alcanzan, incluso, un 80% entre máximos y mínimos.

Figura 3: Mapa solarimétrico de la Zona Central



Fuente: Meteotest; database Meeonorm

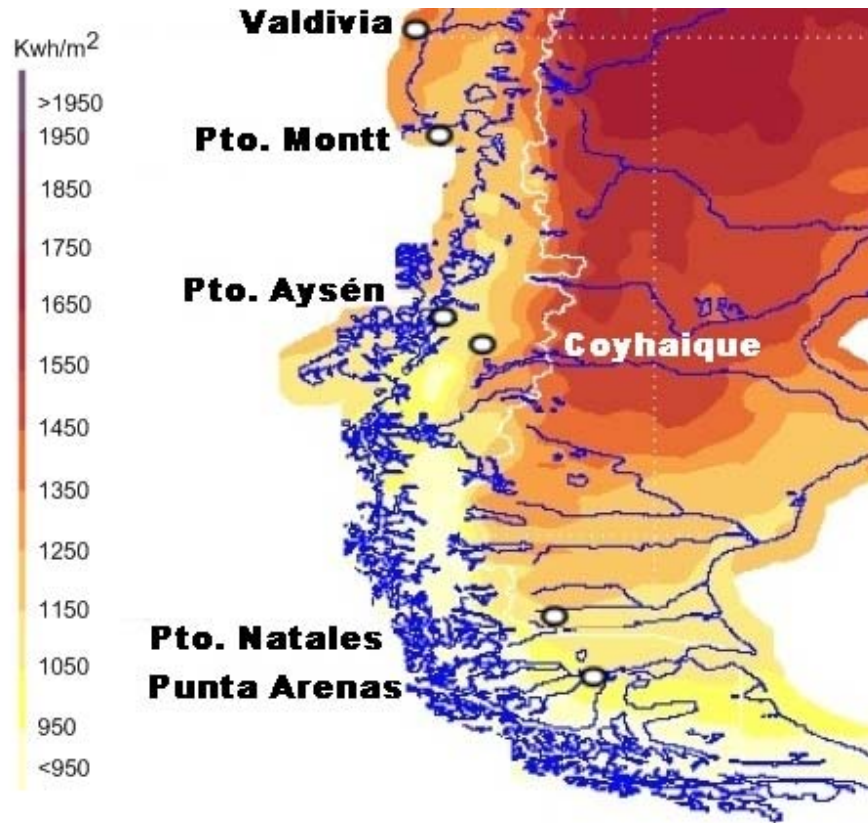
Las temperaturas medias de esta zona varían entre los 9°C y los 14°C. Estas temperaturas disminuyen a medida que se avanza hacia el sur. De la misma forma que la zona norte, estas variaciones oscilan en torno al 50% en el sector costero, acentuándose en dirección a la cordillera, llegando a presentar variaciones por sobre el 80% entre las temporadas de verano e invierno.

4.3. Zona Austral

En la zona que comprende el territorio entre la ciudad de Valdivia y el extremo sur de Chile continental (Cabo de Hornos), se consideran sólo dos sectores, sector costero y sector cordillerano, esto debido a la poca variación en la radiación que existe.

En el sector costero se puede apreciar que la radiación comienza en valores de 1.350 kWh/m², disminuyendo a valores cercanos a 1.150 kWh/m² en zonas cercanas a Puerto Aysén. Desde aquí continúa disminuyendo a medida que se avanza hacia el sur, llegando a alcanzar valores menores a los 950 kWh/m². Para el sector cordillerano, se puede observar que la radiación alcanza valores que oscilan entre 1.350 y 1.150 kWh/m² en el sector entre Valdivia y Coyhaique, para luego disminuir hacia el sur y mantener valores entre 1.150 y 950 kWh/m².

Figura 4: Mapa solarimétrico de la Zona Austral



Fuente: Meteotest; database Meteonorm

En esta zona, en conjunto con la disminución observada para los índices de radiación a medida que se aproxima al sector de Cabo de Hornos, se observa una disminución superior al 80% debido al efecto estacional entre verano e invierno.

Las temperaturas medias para esta zona, varían en torno a los 5°C y los 11°C, disminuyendo a medida que se aumenta en latitud. Se debe considerar además, que la variación de temperaturas debido al cambio estacional, genera fluctuaciones entre un 46% y un 100% entre las temporadas de invierno y verano, acentuándose estas variaciones en los sectores cordilleranos.

5. ESTADO DEL ARTE DE TECNOLOGIAS PARA USO RURAL

En el mundo, dada la crisis actual en el precio de los combustibles y el consiguiente alza en el precio de la electricidad, además de la necesidad de disminuir las emisiones de gases causantes del efecto invernadero (GEI), se ha apreciado un gran auge en la generación de electricidad mediante energías renovables no convencionales (ERNC).

En nuestro país la situación es un tanto distinta a la realidad mundial, dado que aún no se ha masificado el uso de tecnologías basadas en ERNC. Sin embargo, esto no quiere decir que no estén presentes en el país, si no que, aun su aporte es marginal. No obstante lo anterior, existe una serie de "sistemas renovables" en funcionamiento.

5.1. *Sistemas de energía Solar*

Respecto a la generación de energía eléctrica mediante la energía solar, existen dos posibilidades. La primera es utilizando colectores concentradores para producir electricidad por medio de ciclos termodinámicos. Sin embargo, estas instalaciones son normalmente de gran tamaño y elevado costo, no existiendo iniciativas de este tipo en Chile.

La segunda alternativa es la tecnología fotovoltaica utilizada a lo largo de todo el país, la cual consiste en paneles planos, que se concentran en aplicaciones de uso residencial, en la zona norte del país. Las aplicaciones principales son el abastecimiento de energía a viviendas, escuelas, postas, centros comunitarios, retenes de carabineros y en pasos fronterizos aislados y dispersos para usos en radiofonía y telecomunicaciones en sectores rurales.

Según datos del Censo de población desarrollado por el Instituto Nacional de Estadísticas al año 2002, existían 2.398 sistemas fotovoltaicos instalados en viviendas, cuya distribución regional se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2: Número de viviendas por región que se abastecen de electricidad con sistemas fotovoltaicos

Región	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	RM	Total
N° Viv.	300	112	107	1.043	73	138	254	53	99	69	91	26	33	2.398

Fuente: Censo 2002

En la actualidad existe una serie de proyectos en funcionamiento relacionados con energías renovables no convencionales. A continuación se presenta un breve resumen de algunos proyectos fotovoltaicos relevantes en Chile y en sus países vecinos.

5.1.1. Electrificación rural fotovoltaica en la IV Región de Chile

En Chile, gracias al Programa de Electrificación Rural, el uso de paneles fotovoltaicos para el suministro eléctrico de los habitantes rurales de la IV región, incapacitados de tener acceso a las redes del sistema interconectado, ha ido en aumento.

Luego de una licitación internacional para la instalación y operación de 3.064 sistemas aislados de paneles fotovoltaicos en la región de Coquimbo (2.968 viviendas y 96 establecimientos), se instalaron en diciembre de 2005 los primeros 10 sistemas fotovoltaicos pilotos en la localidad de Chacal Alto, comuna de la Serena, para continuar durante el año 2006 en otras localidades rurales de Río Hurtado, de la provincia de Limarí y de la comuna de Ovalle.

5.1.2. Electrificación solar en Huamanzaña, Perú

Durante el año 2007, el grupo Ingenieros Sin Fronteras de la Universidad de Princeton, trabajó junto al pueblo de Huamanzaña, en el Valle de Chao en Perú, a unos 650 m.s.n.m., en un clima seco, con sol radiante, para un proyecto de electrificación, el cual comprendió, en su etapa inicial, el uso de un televisor y algunos sistemas de iluminación.

El sistema fue construido en conjunto entre el grupo de estudiantes y los pobladores de la zona, durante 3 semanas. Este sistema, en corriente continua, utilizó 4 paneles solares de 85W/12V, 3 baterías de plomo ácido (baterías de camión) de 160 Ah, un controlador de carga, lámparas y cargadores de baterías, además de la construcción de un cobertizo para el almacenamiento y protección de las baterías.

Además de la instalación del sistema, se capacitó técnicamente a un grupo de personas para la realización de la mantención del sistema y sus cuidados en la operación, para prevenir el sobrepaso de la capacidad del mismo.

5.1.3. Clínica de salud con energía fotovoltaica: Chihuahua, México

Este sistema instalado en 1997, en México¹, tiene la finalidad de mantener funcionando un sistema de iluminación y un refrigerador de vacunas del tipo de compresión en una Clínica de Salud en Chihuahua.

El sistema fue diseñado para suministrar los requerimientos de un refrigerador/congelador de 12 Vcc, de 17,5 litros de capacidad y una producción diaria de 2,8 kg de hielo, con el fin de mantener la temperatura de las vacunas dentro de un rango de 0°C – 8°C y el congelamiento de 2,2 kg de bloques de hielo, con una temperatura ambiente en la Clínica de Salud de 32°C. El consumo de energía en este régimen de operación del refrigerador es de 0,44 kWh/día, además del consumo de 2

¹ <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/26224.pdf>

tubos fluorescentes de 20W cada uno, utilizados por 3 horas diarias, lo que suma un consumo de energía total de 0,572 kWh/día.

El sistema está constituido por 3 paneles fotovoltaicos de 53 W cada uno, 4 baterías de plomo de ciclo profundo, además de los sistemas de control correspondientes. Con la realización de una mantención adecuada, el sistema tiene proyectada una vida útil de alrededor de 20 años como mínimo, realizando un cambio de las baterías cada 5 años aproximadamente.

5.1.4. Centros de salud con energización fotovoltaica: Programa Nacional de Perú

En el Perú, en 1995 se estableció un programa nacional para conservar vacunas usando refrigeradores fotovoltaicos. Hasta la fecha han sido instalados un total de 300 refrigeradores/congeladores de vacunas fotovoltaicos.

El programa nacional está administrado a nivel nacional por el Ministerio de Salud, con ayuda técnica de la Organización de la Salud Pan Americana. La administración del programa incluye la planificación, adquisición, entrenamiento, implementación y evaluación de los sistemas, actividades que requieren de la coordinación a niveles nacionales, regionales y locales.

5.1.5. Paneles fotovoltaicos para la salud: Chocó, Colombia

Cuatro comunidades rurales remotas en la provincia de Chocó en la costa del Pacífico en Colombia utilizan los sistemas fotovoltaicos para proporcionar servicios de atención médica, refrigeración de vacunas, alumbrado, comunicaciones y aplicaciones médicas.

Cada una de las cuatro comunidades participantes en el proyecto, establecieron consejos comunitarios con el fin de crear microempresas que generasen fondos para el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. Los consejos comunitarios recibieron los sistemas fotovoltaicos para energizar microempresas incluyendo cuatro teatros de video, dos estaciones de cargado de baterías y la venta de linternas con baterías cargadas con la energía proveniente de los sistemas fotovoltaicos. Además de esto, cuatro iglesias recibieron sistemas de iluminación.

Para la mantención de los equipos fueron seleccionados dos técnicos de cada comunidad, los cuales fueron capacitados en instalación, localización de problemas, mantenimiento y reparación de sistemas.

Para el caso del refrigerador de vacunas se utilizaron: 5 módulos fotovoltaicos de 55-W cada uno, baterías de ciclo profundo, de plomo de 200 Ah, además de los sistemas de control correspondientes.

5.2. Sistemas de energía eólica

En el último tiempo ha tenido un importante auge la cantidad de aerogeneradores de baja potencia para suministro energético de una vivienda o un grupo de viviendas y/o establecimientos ubicados en zonas rurales y aisladas o en islas.

En la actualidad, en nuestro país, existen proyectos de energización en base a energía eólica funcionando, los cuales son utilizados principalmente para iluminación y electrificación de viviendas o edificios en zonas rurales. A continuación se muestran algunos ejemplos:

5.2.1. Sistema eólico – diesel, Isla Tac, archipiélago de Chiloé, Chile

El sistema de abastecimiento eléctrico de la Isla Tac, en el Archipiélago de Chiloé, consiste en un sistema híbrido eólico – diesel que abastece de energía eléctrica, desde el año 2000, a 79 familias y 3 centros comunitarios. El sistema cuenta con dos aerogeneradores de 7,5 kW, un banco de baterías de 100 kWh/48 V, un generador diesel de respaldo de 17,5 kW, además del respectivo sistema de distribución en media y baja tensión.

Este proyecto formó parte de un convenio de colaboración firmado entre los gobiernos de Chile, a través de la CNE y de los Estados Unidos de América, a través del Departamento de Energía (DOE).

5.2.2. Proyecto eólico, localidad de Cupo, Región de Antofagasta, Chile

En la localidad de Cupo, comuna de Calama, II Región de Chile, se encuentra el proyecto eólico que abastece con energía eléctrica los consumos básicos de 12 viviendas de la zona. Este proyecto se realizó gracias al Programa de Electrificación Rural, PER, del Gobierno de Chile, la CNE y la colaboración de GEF.

El proyecto incluye un aerogenerador, un banco de baterías, un inversor y el sistema de control respectivo, además de un generador diesel como respaldo en caso de emergencias o desperfectos, de forma de garantizar una adecuada funcionalidad del servicio.

Figura 5: Instalación de Sistema Eólico en localidad de Cupo, Región de Antofagasta



5.2.3. Parque eólico “Estancia Flora”, Empedrado, VII Región, Chile

En la localidad de Empedrado, VII Región de Chile, existe el parque eólico llamado “Estancia Flora”, cuyo objetivo principal por el momento es el monitoreo continuo de vientos para el diseño de un parque de alta potencia en la zona.

5.2.4. Proyecto: Electrificación Hogar – Escuela Villa Tehuelches

El proyecto en Villa Tehuelche² (kilómetro 106 camino de Punta Arenas a Puerto Natales, XII región), consistió de una instalación de 2 aerogeneradores marca Whisper de 1 kW de potencia cada uno, montados sobre torres tubulares a 12 metros de altura, cuya carga se almacena en un banco de baterías. El controlador fue diseñado y construido en la Universidad de Magallanes, disipando el exceso de carga en calefactores ambientales. La producción alimenta un circuito especial de iluminación con lámparas fluorescentes de bajo consumo.

El sistema ha operado en forma prácticamente ininterrumpida desde 1995, con excelentes beneficios para la población del albergue escolar. Por fallas de materiales de piezas móviles ha sido necesario aplicar un programa de mantenimiento que ha incluido reparaciones mayores; sin embargo, la atención del sistema ha permitido familiarizar a la comunidad con todos los aspectos constructivos y operativos del sistema.

² La velocidad media del viento en la localidad es del orden de 8 metros por segundo a 10 metros de altura

5.2.5. Proyecto: Electrificación escuela rural de Agua Fresca

El proyecto en Agua Fresca, km 24 Sur del camino de Punta Arenas a Fuerte Bulnes XII región, fue instalado en 1999 por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Magallanes. El sistema está compuesto de 2 aerogeneradores Bergey (USA) de 1,5 kW cada uno, montados a 10 metros de altura, un controlador y un convertidor para alimentar un circuito de lámparas fluorescentes, desde un banco de baterías. Este sistema ha ofrecido beneficios similares en términos de iluminación al albergue escolar de Villa Tehuelche con menores problemas de mantenimiento.

5.3. *Sistemas energéticos a Biomasa*

Este tipo de instalación es de muy baja eficiencia energética y no permite la obtención, en condiciones rentables, de gas a presiones medianas y altas, por lo que su uso está restringido a aplicaciones locales³. Es así como el uso de digestores ha alcanzado cierto grado de difusión en instalaciones rurales en países como China e India, donde ha demostrado una aceptable rentabilidad a nivel doméstico. La aplicación energética más frecuente del biogás obtenido es térmica (calefacción del propio predio, invernaderos, etc.).

Entre las consideraciones a tener presente a la hora de diseñar un biodigestor es que se trata de un proceso biológico. Esto significa que no siempre es posible copiar el modelo de una planta que funcione de manera eficiente en un lugar y esperar los mismos resultados en condiciones diferentes (clima, tipos de residuos, materiales de construcción, etc.).

A nivel nacional existen aplicaciones interesantes de uso del biogás producido en rellenos sanitarios como materia prima en la producción del gas manufacturado (gas de ciudad) que se distribuye en algunos sectores de la ciudad de Santiago. Sin embargo, este tipo de utilización ha disminuido su importancia debido al ingreso del gas natural desde Argentina al país.

Aunque son posibles las instalaciones de biogás en pequeña escala utilizando desechos animales, principalmente de cerdos y vacunos, no existen muchas experiencias exitosas en Chile. Esto se debe a que, hasta la fecha, las instalaciones han sido demostrativas y, aquellas de destino productivo o de servicio de pequeña escala, no son económicamente rentables, no obstante destacan por su potencial de descontaminación⁴.

A continuación se presenta un breve resumen de algunos proyectos en Chile y países vecinos.

³ Fuente: Proyecto "Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". GEF-PNUD-CNE. Chile

⁴ La descontaminación es consecuencia de que el biogás es, básicamente, metano, gas que es 4 veces más contaminante que el CO₂ (en lo que a GEI se refiere). Luego al combustionar el biogás se tiene como subproducto, CO₂. Por otro lado, con la utilización de desechos se contribuye a la disminución de la cantidad de basura

5.3.1. Planta generadora de electricidad en base a biogás en Isla Butachauques, Chile

En marzo de 1999 se inauguró la planta generadora de un proyecto piloto de electrificación rural en la comunidad de Metahue, en la Isla Butachauques de Chiloé, el cual consideró la generación de electricidad mediante gasificación de biomasa forestal para pequeñas localidades aisladas y rurales. Este proyecto contó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, Global Environment Facility⁵).

La planta tiene una potencia instalada de 40 kW y abastece de electricidad a 36 viviendas. Su administración y operación quedó en manos de la Cooperativa Eléctrica de Metahue. De la realización y puesta en marcha de este proyecto destaca la CNE, los impactos positivos en el medio ambiente dados por la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y en la mejora en la calidad de vida de la población dado que se asegura un abastecimiento de energía con recursos locales, se generan empleos y se fortalece la organización comunitaria.

5.3.2. Planta de biogás en Marcos Paz, Argentina

El año 2006, Cabañas Argentinas del Sol, ubicada en la ciudad de Marcos Paz, Provincia de Buenos Aires, encargó al grupo AquaLimpia el diseño detallado de dos plantas de biogás, además del correspondiente manual de operación y mantenimiento, para producir 600 m³ de gas c/u, utilizando como biomasa estiércol de cerdo (13 m³/día), proyectando una generación de energía eléctrica de 1.150 kWh/día.

5.3.3. Planta de biogás para planta de generación de electricidad de 10 MW

El Grupo AquaLimpia, el año 2007, fue contratado por un grupo de inversionistas chilenos para la preparación de los estudios de factibilidad y diseño para la construcción de una planta de biogás con el fin de alimentar una planta con una capacidad instalada de 10 MW de potencia⁶. Como biomasa se utilizara forraje de maíz y estiércol de ganado.

El proyecto comprende la construcción de 16 biodigestores⁷ de 50 x 25 m y un volumen de 4.500 m³ cada uno. Cabe destacar que a la fecha, como parte del proyecto se encuentra terminada la construcción de una planta piloto para evaluar el potencial de biogás obtenido del forraje de maíz, considerando las condiciones climatológicas de la zona. Así mismo se evalúan diferentes tiempos de retención y dilución de la biomasa, además de la cantidad, calidad y porcentajes de gas metano resultante.

⁵ GEF es una asociación financiada por diferentes países, ONG's y empresas privadas para abordar cuestiones ambientales de alcance mundial y respaldar iniciativas de desarrollo sostenible

⁶ Para más información visitar http://www.aqualimpia.cl/P_Chile.htm, o, <http://bioeiberger.com/noticias/?p=46#more-46>

⁷ Los biodigestores se construyen con fondo de geomembrana y cubierta de EPDM, con el fin de aislar el contenido del biodigestor del medio externo para impedir contaminaciones de napas y de otras tierras

5.3.4. Las Cabras

En la comuna de Las Cabras⁸, VIII Región, existe un proyecto de planta piloto para la producción de Etanol de Maíz llamado "Los Maitenes" perteneciente al proyecto BioEiberger. La planta está diseñada para llegar a los tres metros cúbicos de gas al día por cada metro cúbico de capacidad de lodo del digester, lo anterior utilizando maíz como materia prima. El proyecto está funcionando desde mediados de Marzo del 2008.

5.3.5. Empedrado

En la comuna de Empedrado, particularmente en el sector de Pueblecillo, VII Región, se encuentra en operación un biodigestor domiciliario como experiencia piloto. Este biodigestor utiliza los excrementos de animales para la producción de biogás y fue realizado por el proyecto GEF de remoción de las barreras para la electrificación rural, junto a la CNE y la institución cubana Cuba Solar quien otorgó el apoyo técnico.

El biogas producido por este biodigestor doméstico de 10 m³, es utilizado para el funcionamiento de un refrigerador y una cocina de una familia de 6 personas. Según Francisco Yáñez, Jefe de Desarrollo Rural de Empedrado, el costo estimado del biodigestor implementado es de entre \$1.500.000 y \$1.750.000. Además, en esta zona se proyecta utilizar una caldera alimentada por biomasa para proveer calefacción al nuevo colegio Técnico, actualmente en construcción.

Figura 6: Biodigestor, Comuna de Empedrado, Región del Maule, Chile



⁸ <http://www.elamaule.cl/admin/render/noticia/16875>

5.3.6. Coltauco

Un artesano de la zona de Coltauco⁹, VI Región, don David Pérez, fabricó un biodigestor artesanal del tipo chino, de 7 m³, donde utiliza desechos orgánicos de animales y de su caseta sanitaria para la producción de biogás, el cual se almacena en una cámara de neumático de tractor, para luego ser ocupado para calefaccionar su hogar durante el invierno y cocinar todo el año.

El digestor fue construido en base a un manual que desarrollo la académica de la Universidad de Chile, especialista en Biodigestores, Maria Teresa Varnero para la FAO en 1984.

5.4. *Proyectos con refrigeración solar*

Los equipos frigoríficos que utilizan directamente la energía solar para trabajar, por lo general son proyectos universitarios o prototipos en vías de ser comercializados en un futuro cercano, a pesar de que es una tecnología bastante antigua. Se tienen registros de un refrigerador por absorción patentado por Albert Einstein en 1930, pero, debido al auge de los refrigeradores por compresión no llegó a masificarse. A continuación algunos ejemplos de los desarrollos que se están investigando hoy en día.

5.4.1. Simulación de sistema de refrigeración solar para producción autónoma de hielo

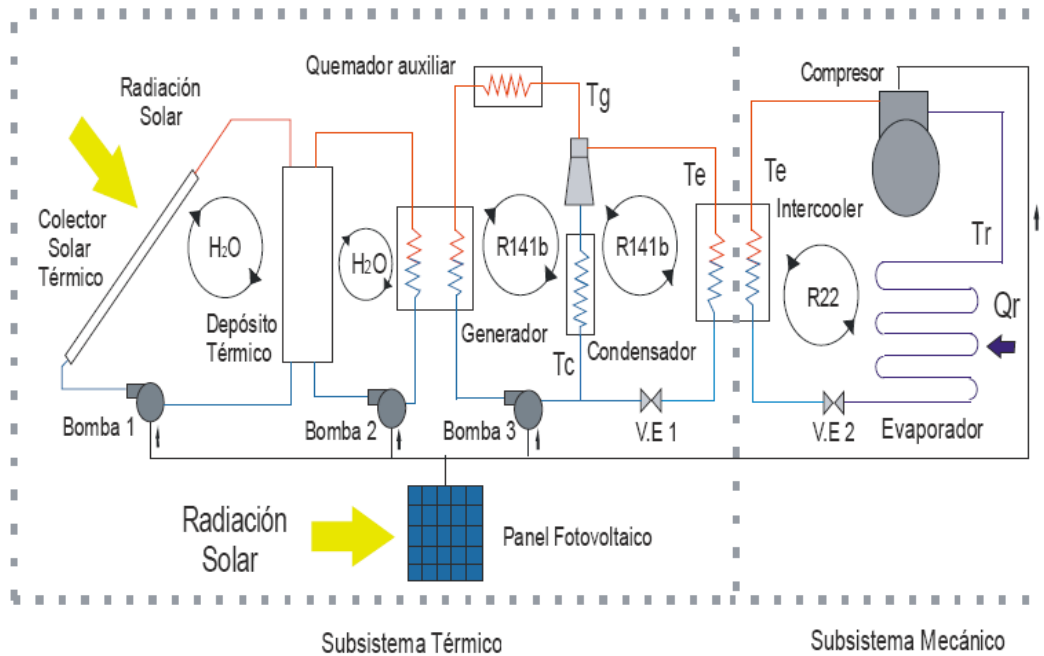
En un trabajo¹⁰ realizado en la Universidad de Magallanes, pensado para comunidades de pescadores alejadas de la electricidad convencional y que necesitan de hielo para la mantención de sus productos, como lo es el caso de la pequeña comunidad de Cobija, situada en el norte de Chile, se presenta la simulación de un sistema de refrigeración solar para producción de 100 kg de hielo por día, donde la primera etapa es desempeñada por un ciclo de compresión mecánico, impulsado por energía fotovoltaica, mientras la segunda etapa es desarrollada por un ciclo eyector movido por colectores solares – térmicos de placa plana. El subciclo eyector incluye un generador, condensador, eyector, bomba y válvula de expansión, mientras que el subciclo mecánico incluye un evaporador, una válvula de expansión y un compresor. La conexión entre los dos subciclos está en el intercooler, el cual sirve como evaporador para el ciclo eyector y como condensador para el ciclo mecánico.

Este proyecto está en etapa de simulación, lo que corresponde a la etapa previa de la construcción de un prototipo funcional.

⁹ Comentario en <http://www.elamaule.cl/admin/render/noticia/8325>, www.elmundorural.cl (17 de julio 2007)

¹⁰ Simulación de un sistema de refrigeración solar en dos etapas con ciclo de compresión mecánica y ciclo eyector para producción autónoma de hielo, Roderick Palomino, Humberto Vidal, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Magallanes, Chile

Figura 7: Esquema del sistema de refrigeración en doble etapa térmico-mecánico asistido por energía solar.

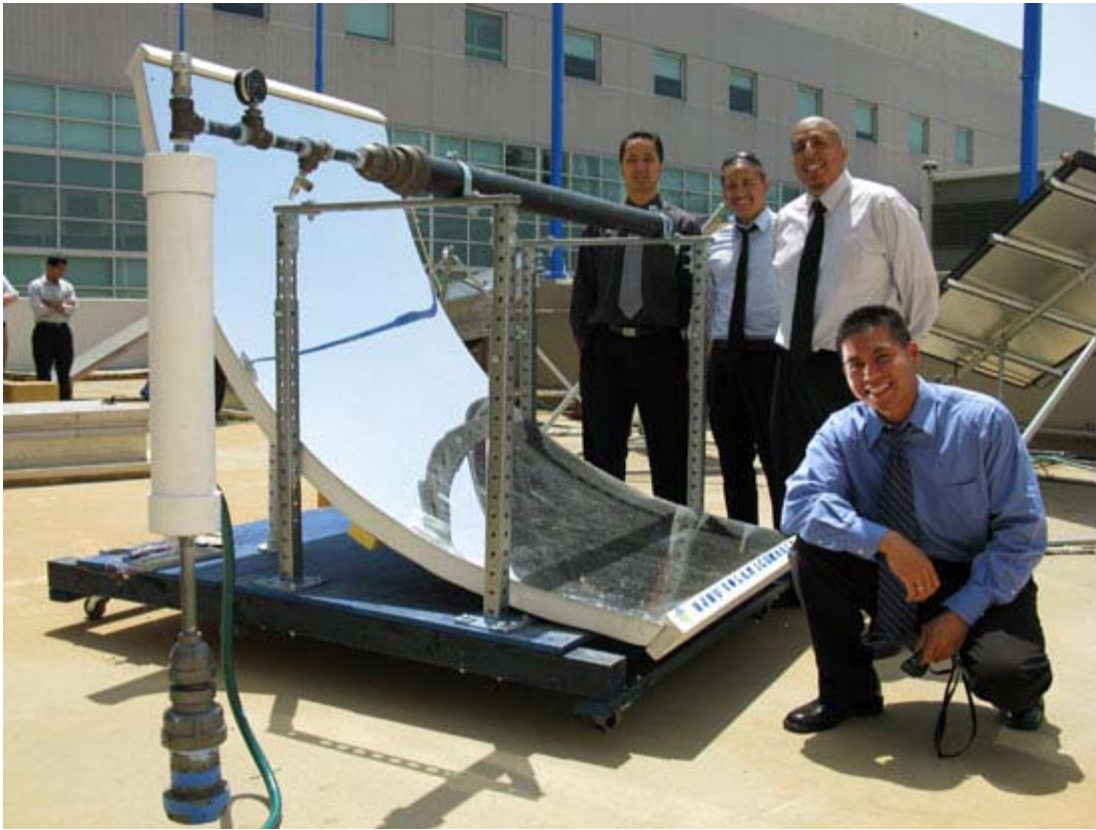


Fuente: Departamento de Ing. Mecánica, Universidad de Magallanes

5.4.2. Refrigerador solar USA

Este otro proyecto, realizado por investigadores de la Universidad Estatal de San José en Estados Unidos, ya tiene un prototipo funcional como se muestra en la Figura 8, pero aún no está a la venta. El aparato puede fabricar 5 kilogramos de hielo al día usando solamente la energía del sol. Funciona bajo el principio de refrigeración por absorción, es decir, con un líquido refrigerante que se evapora al ser expuesto al sol, el que luego pasa por una serie de cañerías donde entra en contacto con un material absorbente, el cual se enfría cuando el sol se esconde. Cuando este material llega a 40°C, el refrigerante vuelve a su estado líquido y su temperatura baja a temperaturas bajo cero debido a la diferencia de presiones. En ese momento, sólo hay que colocar agua cerca del evaporador exterior para conseguir hielo.

Figura 8: Prototipo de refrigerador solar



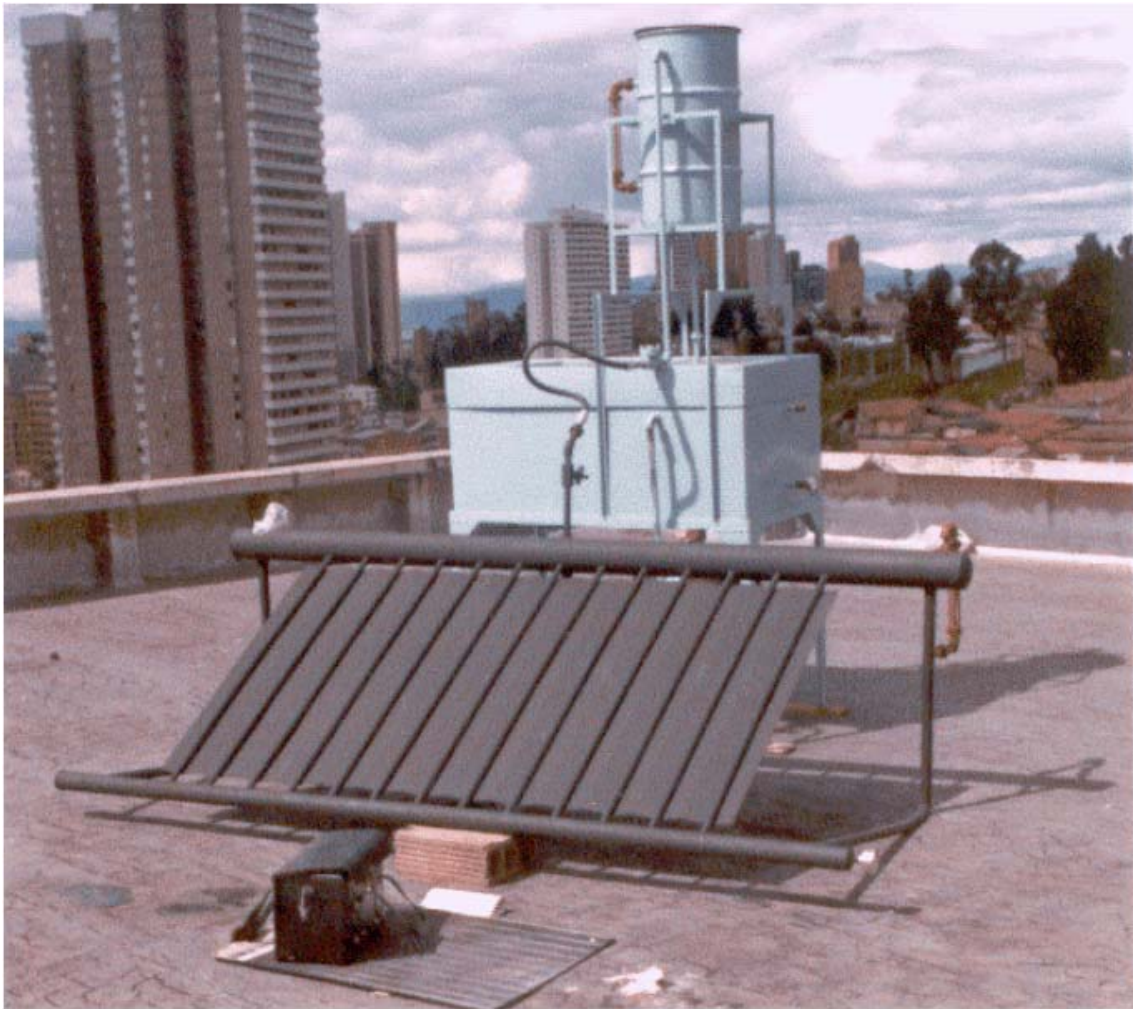
5.4.3. Refrigerador solar con ciclo de absorción intermitente

En este trabajo¹¹, desarrollado por investigadores de la Universidad de los Andes de Colombia, se describe una instalación experimental para la producción de frío utilizando un sistema de absorción intermitente. El equipo ha sido desarrollado para pequeñas comunidades de la costa Pacífico de Colombia en donde la infraestructura es mínima y se requiere conservar la pesca.

El diseño intermitente tiene múltiples ventajas tales como la ausencia de bombas y otros equipos que deben operar con energía eléctrica. Sin embargo, la operación es complicada y requiere de dedicación de una persona con un cierto grado de experiencia y preparación, lo cual limita mucho su aplicación, además de que su costo es alto comparado con sistemas convencionales.

¹¹ Refrigerador Solar – Ciclo De Absorción Intermitente, Rafael G. Beltrán, Universidad de los Andes, Colombia

Figura 9: Prototipo de refrigerador solar por absorción intermitente, Colombia



5.4.4. Refrigerador solar por adsorción para producción de hielo

Este trabajo¹² realizado en Brasil, presenta el estudio de un refrigerador solar basado en un ciclo de adsorción intermitente, destinado a la fabricación de hielo. El par adsorbente-adsorbato utilizado en este proyecto es el carbón activado-metanol.

En este trabajo se realizaron algunas innovaciones como lo es una cobertura del sistema de captación solar consistente en dos vidrios, conteniendo en el espacio entre ellos elementos anti-convectivos de policarbonato, denominada cobertura TIM – “Transparent Insulation Material”. Además se adoptaron novedosas configuraciones geométricas para el adsorbedor y para el evaporador que

¹² Refrigerador Solar para producción de hielo usando Carbón activado-Metanol, Antonio Pralon Ferreira Leite, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

son multitubulares, en lugar del formato rectangular/trapezoidal en cajón único, adoptado para estos componentes en las máquinas de fabricación francesa¹³.

El prototipo fue proyectado y construido con base en los resultados de simulaciones numéricas basadas en datos meteorológicos de João Pessoa (7°8'S, 34°50 ' WG). Los resultados demostraron que es posible obtener, en el periodo semestral de temperaturas más altas en ese lugar (Octubre-Marzo), una cantidad diaria de hielo de cerca de 7 hasta 10 kg, por metro cuadrado de área de captación solar, con flujos de radiación solar total incidente de 5,56 a 6,39 kWh/m², respectivamente.

¹³ Medini, N., Marmottant, B., Golli, S. et Grenier, Ph, 1991, Etude d'une machine solaire à fabriquer de la glace, *Revue Internationale du Froid*, Vol. 14, pp. 363-367.

6. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para realizar el diseño de un sistema de refrigeración suministrado por energías renovables no convencionales, deben responderse 3 preguntas:

- ✓ **¿Dónde?:** la respuesta determinará si el sistema será solar, eólico, con biomasa, etc.
- ✓ **¿Qué?:** con esto se logra determinar los requerimientos de frío para conservar los alimentos. Esto es, si se requiere mantener un ambiente a cierta temperatura o bien, la fabricación de hielo, lo que limita la elección del aparato de refrigeración
- ✓ **¿Cuánto?:** esta respuesta junto a la anterior permiten determinar los requerimientos energéticos para dimensionar los sistemas de suministro.

6.1. Funcionamiento de un sistema suministrado por ERNC

El sistema de refrigeración en base a energías renovables, estará constituido por un conjunto de partes que, aunque pueden comprarse como sistemas completos, pueden ser diseñados o comprados separadamente, para luego construir un sistema con cada una de las partes, utilizando mano de obra e insumos nacionales, si es que no afectan la eficiencia y la confiabilidad del sistema.

Un sistema de generación de energía, para usarse como fuente de abastecimiento de electricidad, consta de varias partes, entre las cuales están los captadores de energía, almacenadores de energía, convertidores/inversores, controladores de carga y los consumos. En el caso de un sistema fotovoltaico y uno eólico, se comparten muchos equipos, dado que solo difieren en el captador de energía y en la estructura que soporta este captador, por lo tanto, se explica el funcionamiento del sistema sin considerar el punto de "generación" o captación de la energía (paneles fotovoltaicos o la turbina eólica).

Captador de Energía: consiste en el dispositivo que "recoge" la energía del medio ambiente, entendiéndose como "energía del medio ambiente" la energía solar, en cuyo caso los captadores son paneles fotovoltaicos, o la energía eólica, en cuyo caso se utilizan turbinas eólicas, o la energía química, donde el captador es un biodigestor.

Almacenadores de Energía: las baterías utilizadas para almacenar la energía entregada por los captadores son llamadas "Almacenadores de energía". Dependiendo de la cantidad de almacenadores incorporados al sistema, se podrá tener mayor cantidad de energía disponible para ser utilizada en cualquier momento del día, y determinará el nivel de descarga de éstas durante su utilización.

Convertidor de Energía (Inversor): Es un dispositivo que permite que la energía almacenada en las baterías (corriente continua), pueda ser utilizada en dispositivos electrónicos, que en su gran mayoría requieren corriente alterna.

Controlador de Carga: Es un dispositivo que permite que los niveles de voltaje y corriente entregados por los captadores de energía sean los adecuados para no dañar las baterías de almacenamiento.

Consumos: Son los equipos que utilizan o consumen la energía disponible. En este caso corresponde a los refrigeradores o máquinas de hielo, las cuales serán alimentadas con un voltaje alterno de 220 V alternos o de 12V continuos. Dependiendo de la potencia requerida y el tiempo de utilización del consumo se determina el resto del sistema, es decir, cada sistema debe estar diseñado para satisfacer los requerimientos que el consumo conectado a él tiene para funcionar.

6.2. Proyectos solares

A la hora de diseñar un proyecto solar debe tenerse en cuenta aspectos generales y otros particulares, los que determinarán las características específicas de un sistema determinado. Si bien es posible entregar una serie de factores a los cuales debe atenderse, es necesario considerar que es de inmensa relevancia los factores climáticos locales del sector donde se instalará el sistema solar.

Uno de estos factores climáticos a considerar, es la existencia de información fidedigna de la radiación solar incidente en la zona a lo largo del año. Con respecto a este tema, existen numerosos estudios, que resumen esta información. Sin embargo, es importante revisar la validez de estas fuentes. Algunas recopilaciones de información corresponden a datos imprecisos, dado la antigüedad de las muestras, o la falta de calibración de los aparatos. Sin embargo, existen organizaciones que comercializan información como la requerida, con un bajo porcentaje de error, lo cual permite tener una buena aproximación a la hora de estimar la energía que serán capaces de suministrar los sistemas fotovoltaicos.

Otro factor propio de la zona geográfica donde se instalará el sistema, es la temperatura ambiental, dado que, mientras más elevada sea ésta, los requerimientos energéticos del sistema de refrigeración serán mayores. Por otro lado, debe considerarse la ubicación geográfica del proyecto dado que la inclinación de los paneles solares varía de acuerdo a esto, para lograr maximizar la captación de energía.

A modo de ejemplo, en la Tabla 3 se muestran los datos de las ciudades de Tocopilla y Punta Arenas, donde puede observarse que, tanto la radiación solar (o las horas de sol equivalentes¹⁴) como la temperatura del aire varían a lo largo del año.

¹⁴ El número de horas de sol equivalentes corresponde a una conversión adoptada para simplificar los cálculos en la literatura especializada y da cuenta de la energía total aportada por el sol en una superficie de 1 m² durante un día. Por ejemplo, si el sol entrega 6,5 kWh/m² por día, se dice que el número de horas de sol equivalentes es 6,5, que corresponde a la cantidad de horas necesarias para que, con una intensidad de radiación solar de 1kWh/m² se obtiene la energía que entrega el sol a lo largo del día en la mencionada área.

Tabla 3: Datos climáticos de Tocopilla y Punta Arenas

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tocopilla	Horas de sol equivalentes, hr	7,84	7,46	6,34	4,78	3,56	2,85	3,14	3,79	4,84	5,94	6,83	7,46
	Temperatura del aire, °C	19,4	20,1	19,7	18,6	17,3	16,2	15,5	15,9	16,1	16,8	17,2	18,4
Punta Arenas	Horas de sol equivalentes, hr	5,64	4,44	3,03	1,75	0,83	0,58	0,67	1,44	2,64	4,17	5,64	5,92
	Temperatura del aire, °C	10,5	10,1	8,2	6	3,4	1,5	1,1	2	4	6,4	8,2	9,7

Fuente: Base de datos del programa de dimensionamiento RETScreen 4, de Ressources Naturelles Canada

En el caso de los paneles solares fotovoltaicos, la principal diferencia entre los modelos reside, además del costo, en el tamaño de las superficies de cada uno. La superficie de los paneles determina la cantidad de energía que son capaces de captar, para ciertas condiciones de operación.

A continuación, en la Tabla 4, se presenta una comparación de la potencia instantánea de un panel, dependiendo del modelo y la intensidad de radiación, bajo las mismas condiciones de ensayo.

Tabla 4: Potencia en W entregada por distintos panel a distintos niveles de irradiación, a 25°C

Modelo Irradiación	KC20	KC50T	KC85T	KC130T
1000 W/m2	20,18	54,11	87,35	130,06
800 W/m2	16,35	44,47	72,83	108,60
600 W/m2	13,00	32,75	54,02	81,45
400 W/m2	7,98	21,37	36,66	55,03
200 W/m2	3,99	10,69	19,29	27,15

Fuente: Datasheets de los distintos modelos

* Valores estimados en base a gráficos de datasheets para cada producto

A modo de ejemplo, en la Tabla 5 se presenta las variaciones en potencia entregada por el panel KC130T a un nivel de radiación fijo de 1 kW/m2 en relación a las variaciones de temperatura.

Tabla 5: Potencia entregada por cada panel a distintos niveles de temperatura, radiación de 1 kW/m2

Temperatura [°C]	Potencia [W]
25	130,06
50	63,75
75	44,27

Fuente: Datate de KC130TM

* Valores estimados en base a gráficos de datasheet de Panel KC130TM

6.2.1. Proyectos solares en corriente alterna

Teniendo los datos solarimétricos de la zona donde se va a instalar el sistema solar, debe considerarse luego, la carga a suministrar con la energía solar, la cual variará según los requerimientos de frío, el tamaño y la temperatura ambiente.

Así, si en el sector donde se van a instalar los sistemas coincidiesen los meses de menor radiación solar (o menos cantidad de horas de sol equivalentes, HSE) con meses de altas temperaturas, que aunque sean éstas las más bajas del año, significan altos requerimientos energéticos para la máquina frigorífica (como por ejemplo Tocopilla en el mes de junio 2,85 HSE, 16,2°C), el sistema solar debe ser diseñado para abastecer los equipos en estas circunstancias.

Si el dimensionamiento es para una zona como la de Punta Arenas, donde los menores valores de HSE coinciden con valores bajos de temperatura ambiental, se recomienda no considerar los parámetros del mes de menor radiación para realizar el diseño¹⁵, dado que con las bajas temperaturas ambientales los requerimientos energéticos para mantener la temperatura dentro de la máquina frigorífica son mínimos¹⁶.

Luego, para estimar la energía E que es capaz de entregar un panel, se tiene la siguiente relación:

Ecuación 1: Energía diaria que es capaz de entregar un panel fotovoltaico

$$E = HSE \cdot \eta_{panel} \cdot A \cdot 1 \text{ kW} / \text{m}^2 \cdot \text{día}$$

donde:

HSE : Horas de sol equivalentes [h]

η_{panel} : Eficiencia del panel [%]

A : Área del panel [m²]

Así, contrastando los requerimientos diarios con la energía que es capaz de entregar un panel, se obtiene el número necesario de éstos para un determinado proyecto. La relación algebraica para obtener el número de paneles es:

Ecuación 2: Cantidad de paneles necesarios para suministrar una determinada carga

$$Paneles = \frac{Carga}{E \cdot \eta_{sist}}$$

donde:

¹⁵ Para la zona proyectos en la zona sur del país el Sr. Ing. Alejandro Pinto de Solener recomienda considerar 2,5 HSE (como caso general) para el dimensionamiento de los sistemas.

¹⁶ Suponiendo que la máquina frigorífica no se encuentra dentro de un recinto calefaccionado

Paneles : Número de paneles necesarios
Carga : Energía diaria necesaria [kWh/día]
 η_{sist} : Eficiencia del sistema completo¹⁷

Por otro lado, el número de baterías que es necesario considerar para el correcto funcionamiento del sistema es independiente de la zona a instalar el sistema y depende de la potencia y energía requeridas y de la cantidad de días de respaldo¹⁸ con los que se quiere diseñar.

En los catálogos de baterías aparece el voltaje V , en volts [V], y la corriente I , en amperes – hora [Ah], de estos almacenadores de energía. Utilizando esta información y con la potencia requerida por la máquina frigorífica, puede determinarse la cantidad de baterías necesarias para obtener n días de respaldo, con la expresión siguiente:

Ecuación 3: Estimación de la cantidad de baterías necesarias

$$Baterías = n \cdot \frac{Carga}{E_{baterías} \cdot \eta_{inversor}}$$

Donde $\eta_{inversor}$ es la eficiencia del inversor, y $E_{baterías}$ corresponde a la energía almacenada en las baterías que se calcula según la expresión:

Ecuación 4: Cálculo de la energía nominal almacenada en una batería

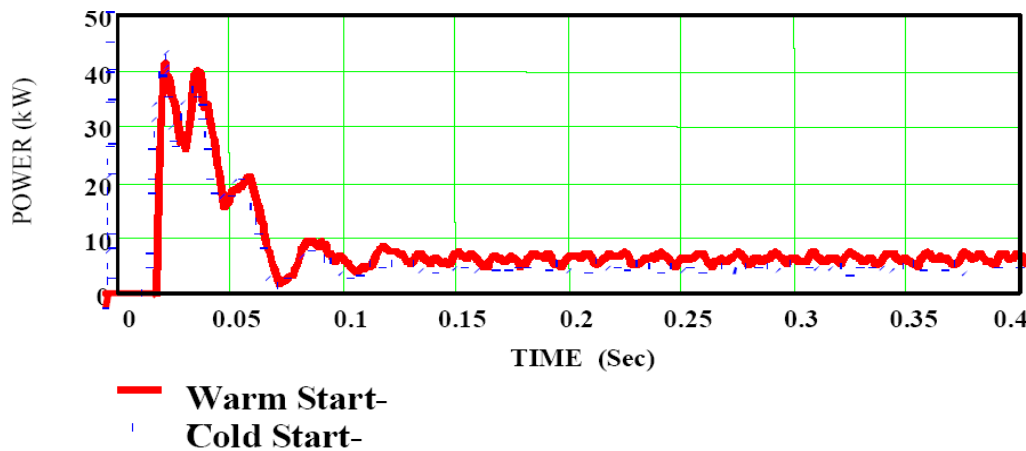
$$E_{baterías} = \frac{V \cdot I}{1000} [kWh]$$

El dimensionamiento del inversor obedece únicamente a las características de la carga. Dado que los sistemas de refrigeración tienen peaks en la demanda de energía durante las partidas, como se muestra en la Figura 10, donde puede observarse que la demandada en la partida es aproximadamente 5 veces la potencia en régimen permanente, por lo tanto, debe amplificarse por 5 la potencia del artefacto para tener el parámetro necesario para elegir el inversor.

¹⁷ Por sistema completo se refiere a la eficiencia del conjunto regulador de carga + banco de baterías + inversor + dispositivos de seguridad

¹⁸ Los días de respaldo corresponden a “reservas” de energía en las baterías para que el sistema funcione cuando las condiciones solarimétricas son adversas.

Figura 10: Potencia demandada por un refrigerador en las partidas



Fuente: Wind – Electric Ice Making Investigation

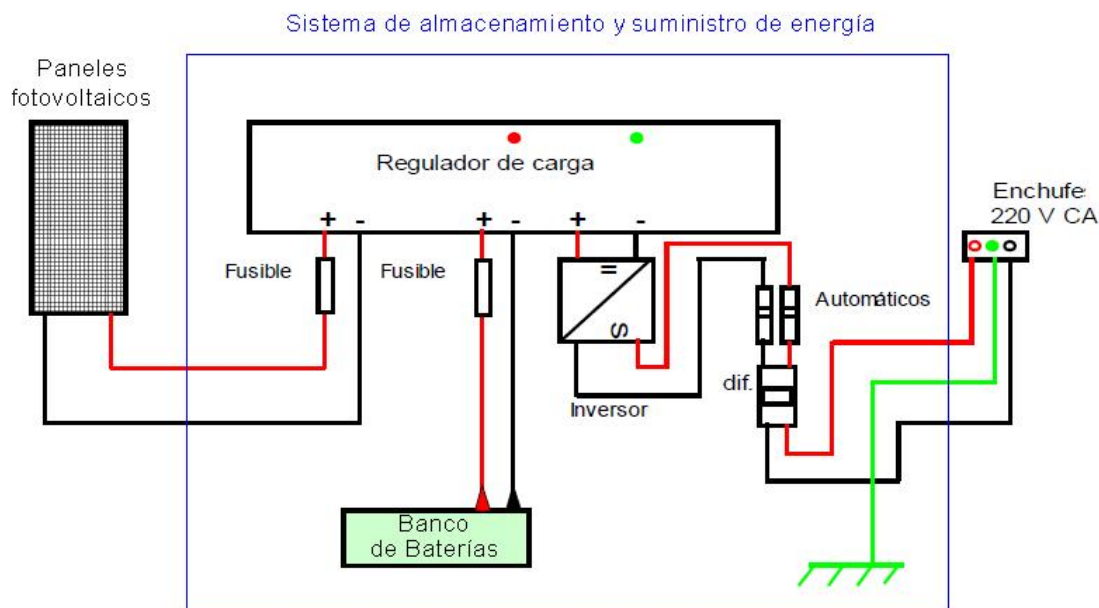
Para el caso del regulador de carga, este dependerá de la cantidad de paneles y de las características de estos. Los reguladores de carga deben ser capaces de soportar la máxima corriente entregada por los paneles, es decir, si el arreglo es de N paneles, y la corriente en corto circuito de éstos es I_{cc} , el regulador debe soportar al menos una corriente de $N \cdot I_{cc}$ [A].

De seleccionar un regulador/inversor, es necesario que sea capaz de otorgar la corriente que exige la carga en todo momento, y la corriente máxima que son capaces de suministrar los paneles.

Como se muestra en la Figura 11, es necesario, luego de seleccionar las partes que cumplan con los requerimientos de la carga en todo momento¹⁹, es necesario protegerlas con fusibles y otros dispositivos de seguridad para evitar que se dañen ante eventuales fallas.

¹⁹ Es importante recalcar que se debe suministrar la carga adecuada incluso en las partidas, por lo tanto, no deben actuar las protecciones en estos casos

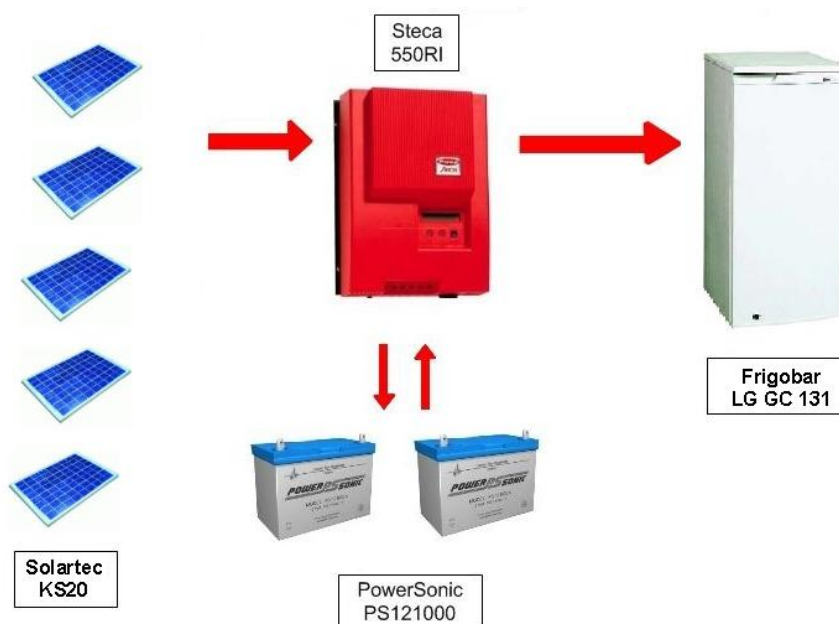
Figura 11: Esquema de un sistema fotovoltaico para suministro de corriente alterna



Fuente: Elaboración propia en base a esquema de "Instalación de sistemas de autogeneración eléctrica IV Región de Coquimbo, con sistemas individuales de equipos Fotovoltaicos, CONAFE

A modo de ejemplo, se muestra un esquema de los componentes necesarios para asegurar el funcionamiento de un frigobar con un sistema solar de suministro de energía. La metodología detallada de selección de las partes se puede ver en 7.2.

Figura 12: Sistema solar de suministro para un frigobar



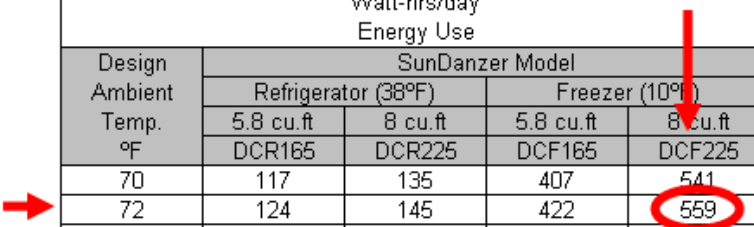
6.2.2. Proyectos solares en corriente continua

De considerarse una máquina frigorífica de corriente continua (ya sea un refrigerador o un freezer para la fabricación de hielo), el dimensionamiento es diferente. Existe una tabla entregada por los fabricantes de estos equipos donde se entrega, en función de la temperatura del aire del lugar y de las HSE, la energía que deben entregar los paneles y la que debe ser almacenada por el banco de baterías.

Cabe destacar que, al igual que el caso del diseño de sistemas para máquinas de corriente alterna, debe atenderse a las particularidades de cada región a la hora de determinar los parámetros de diseño. Es decir, para escoger la cantidad de HSE y la temperatura del aire debe analizarse las condiciones en los “peores meses” (el de menor cantidad de HSE y el de mayor temperatura del aire).

En el adjunto de Datasheets (ver archivo Tabla_dimensionamiento_Sist_CC.pdf) es posible apreciar la tabla entregada por la empresa SunDanzter²⁰. En la primera columna se encuentra la temperatura del aire. En función de esta temperatura, si es que se va a dimensionar un sistema para un refrigerador o un freezer, aparece un número. En la Figura 13 es posible apreciar una parte de la tabla. Por ejemplo, si se necesita un freezer de 225 litros (DCF225²¹), y la temperatura de diseño es de 72°F (22°C), el número para el diseño es 559.

Figura 13: Diseño de un sistema de refrigeración en corriente continua



Step 1 -> Determine Watt-hrs/day Energy Use				
Design Ambient Temp. °F	SunDanzter Model			
	Refrigerator (38°F)		Freezer (10°F)	
	5.8 cu.ft	8 cu.ft	5.8 cu.ft	8 cu.ft
	DCR165	DCR225	DCF165	DCF225
70	117	135	407	541
72	124	145	422	559
74	133	157	439	578
76	143	169	459	600
78	155	184	480	623
80	168	199	505	647
82	182	216	531	674

Fuente: Elaboración propia en base a tablas de SunDanzter

Luego, con ese número debe irse a la columna “Watt-hrs/day Energy Use”, donde debe ubicarse la cantidad más cercana al número obtenido anteriormente, como se muestra en la Figura 14. Con este número y con la cantidad de horas de sol equivalente para el diseño, se obtiene la cantidad de watts

²⁰ <http://www.sundanzter.com>

²¹ El código que aparece en la tabla para elegir tamaño y si es refrigerador o freezer tiene la siguiente estructura: DCXABC, donde “DC” declara que se trata de una máquina con un motor de corriente continua, “X” es el tipo de frigorífico. Será una “F” para un freezer y una “R” para un refrigerador y “ABC” es el tamaño en litros de la máquina.

que deben suministrar los paneles solares. Es de decisión de la persona que diseña cuales serán las características de estos paneles. Sin embargo, todos deben ser de las mismas características.

Figura 14: Diseño de un sistema de refrigeración en corriente continua

Step 2 -> Determine
System Size

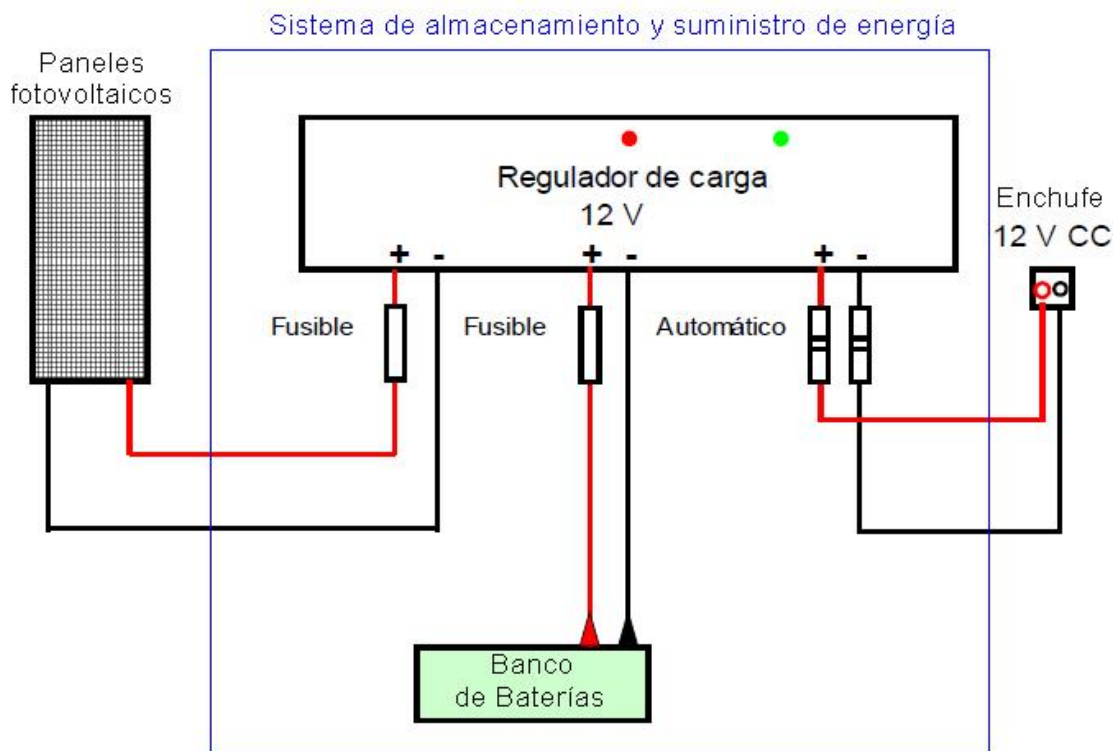
Sun-Hours	3	4	5	6	Battery Size Amp-Hrs @ 12V
Watt-hrs/day Energy Use	Rated Watts PV	Rated Watts PV	Rated Watts PV	Rated Watts PV	
100	63	48	38	32	74
120	76	57	46	38	89
140	89	67	53	44	104
160	102	76	61	51	119
180	114	86	69	57	133
200	127	95	76	63	148
220	140	105	84	70	163
240	152	114	91	76	178
260	165	124	99	83	193
280	178	133	107	89	207
300	190	143	114	95	222
350	222	167	133	111	259
400	254	190	152	127	296
450	286	214	171	143	333
500	317	238	190	159	370
→ 550	349	262	210	175	407
600	381	286	229	190	444
650	413	310	248	206	481

Fuente: Elaboración propia en base a tablas de SunDanzer

Además de los paneles y las baterías se necesita además un regulador de carga que debe ser capaz de soportar la corriente máxima entregada por los paneles y la corriente máxima demandada por la carga.

Así, el sistema completo difiere del sistema diseñado para alimentar cargas en corriente alterna, en la ausencia de un inversor y el tipo de salida, dado que en el primer caso es de 220 V alternos y en el segundo es 12 V continuos. El esquema de conexión se aprecia en la Figura 15.

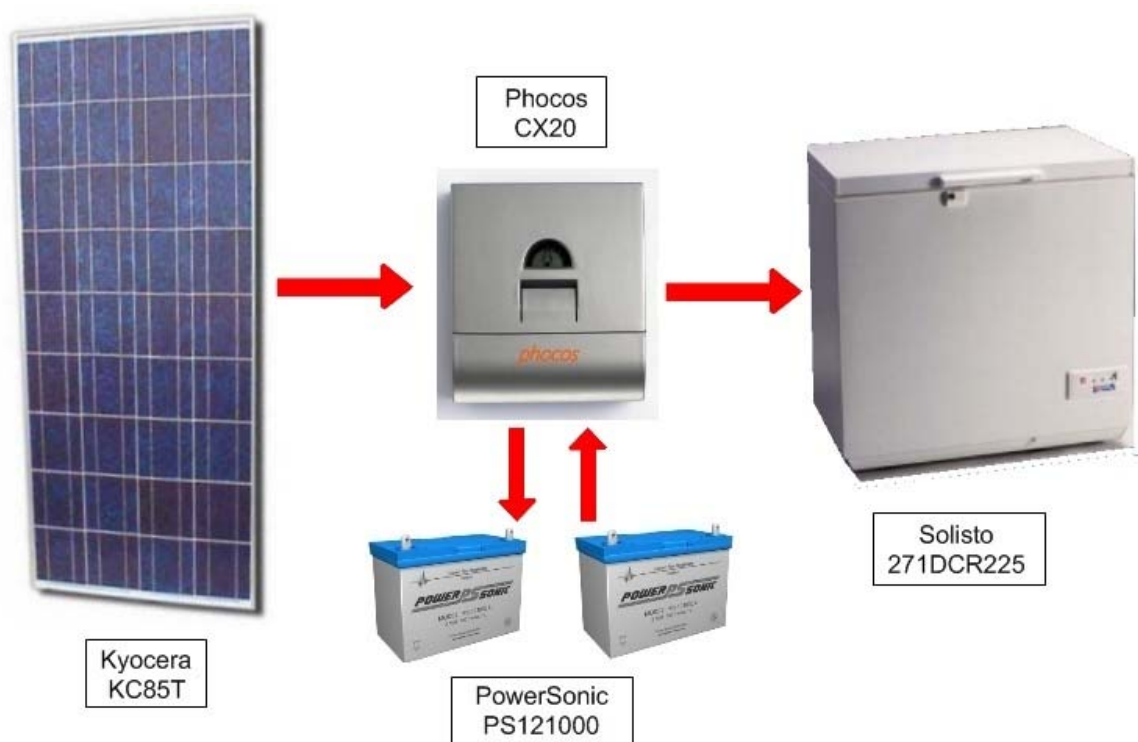
Figura 15: Esquema de interconexión para un sistema de suministro de corriente continua



Fuente: Elaboración propia en base a esquema de "Instalación de sistemas de autogeneración eléctrica IV Región de Coquimbo, con sistemas individuales de equipos Fotovoltaicos, CONAFE

Para ejemplificar los componentes de un sistema de suministro de una máquina frigorífica que funciona con corriente continua, se presenta el siguiente esquema para el suministro de un refrigerador Solisto. Para más detalles de la selección de las componentes del sistema, ver 7.3.

Figura 16: Sistema de producción de hielo con energía solar



6.3. Proyectos eólicos

Para el dimensionamiento de proyectos eólicos debe tenerse en cuenta la velocidad del viento a lo largo del año. Si bien éste es un parámetro aleatorio, es imprescindible para establecer si determinada turbina será capaz de suministrar una carga dada.

De contar con información de la velocidad del viento en la zona, sea ésta de periodicidad diaria, mensual, anual, etc., con un número de muestras suficientes para establecer una distribución estadística, es posible realizar una cuantificación de la energía eólica que es posible obtener con una turbina determinada. En caso contrario, se requerirá de la instalación de un anemógrafo para el registro horario, o bien continuo, de la velocidad del viento, en los lugares que aparezcan como aptos para la ubicación de la turbina, los cuales pueden ser indicados por los lugareños. La información debe ser relevada por un periodo de, a lo menos, un año, para lograr el establecimiento de posibles estacionalidades.

Un factor importante a considerar acá es que la velocidad del viento es un parámetro determinado por numerosos factores locales y el hecho que se tengan mediciones de velocidad del viento en un punto, no asegura que una localidad completa tenga las mismas características que el punto en que se realizaron las mediciones.

Con la información de la velocidad del viento de la zona, sabiendo la cantidad de energía requerida para el funcionamiento del sistema de refrigeración, es posible realizar la selección de una turbina adecuada para los requerimientos del proyecto, dado que, en los catálogos de turbinas eólicas aparece la energía promedio mensual entregada por una turbina ante una velocidad del viento promedio mensual determinada.

Con esta información es posible determinar si la turbina será capaz de asegurar la energización continua del sistema a lo largo del año. Se recomienda, además, no instalar turbinas eólicas en zonas donde la velocidad del viento sea inferior a los 3 m/s, dado que la energía generada para esa velocidad del viento es mínima, y, en algunos modelos de turbina, ni siquiera se asegura la partida.

A modo de ejemplo se presenta la Tabla 6, donde, para distintos modelos de turbina, se entrega la cantidad de energía mensual producida, según la velocidad promedio del viento.

Tabla 6: Energía mensual, en kWh/mes, entregada por turbina a distintas velocidades de viento

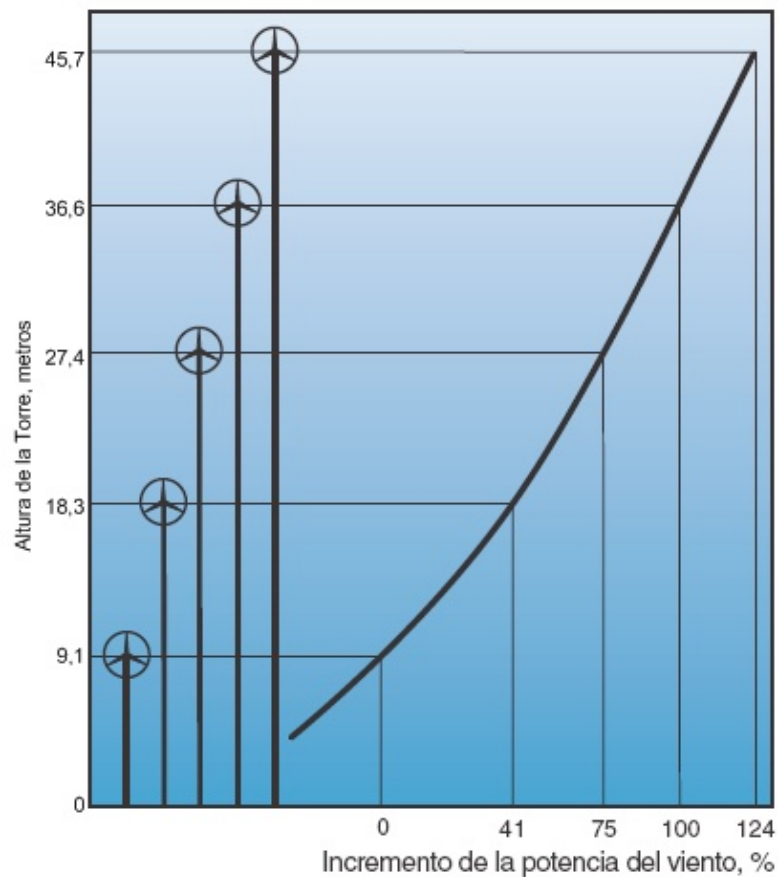
Modelo Vel. Viento	Air X	Whisper 100	Whisper 200	Whisper 500	Skystream
2,5 m/s	0,00	7,89	18,42	38,66	31,25
3,5 m/s	3,81	26,32	60,53	154,64	112,50
4,5 m/s	12,38	60,53	131,58	332,47	225,00
5,5 m/s	24,29	107,89	207,89	564,43	381,25
6,5 m/s	39,05	165,79	284,21	796,39	506,25
7,5 m/s	55,71	223,68	350,00	1.012,89	625,00

Fuente: Datasheets de los distintos modelos

* Valores estimados en base a gráficos de datasheets para cada producto

Otro factor importante a considerar es el incremento de la velocidad del viento con la altura de la torre. En la Figura 17 se pueden observar el incremento porcentual de la potencia en función de la altura de la torre que sostiene a la turbina. Cabe destacar que el aumento de la potencia es exponencial al aumentar la altura.

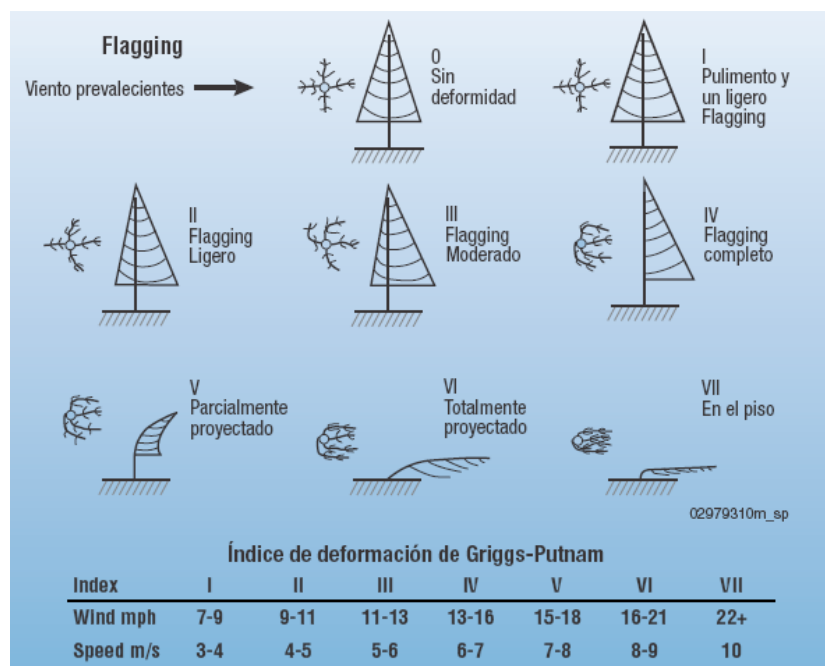
Figura 17: Variación porcentual de la potencia del viento según la altura



Fuente: Departamento de Energía, EE.UU.

En el caso de no tener información confiable de la velocidad del viento para una zona determinada, existen métodos para estimarla. Uno de ellos consiste en la determinación de la velocidad media del viento en función de la inclinación de los árboles de la zona. Asociando los índices de deformación de Griggs – Putnam a ciertas velocidades de viento, como se muestra en la Figura 18.

Figura 18: Índices de deformación de Griggs-Putnam y velocidad del viento asociada



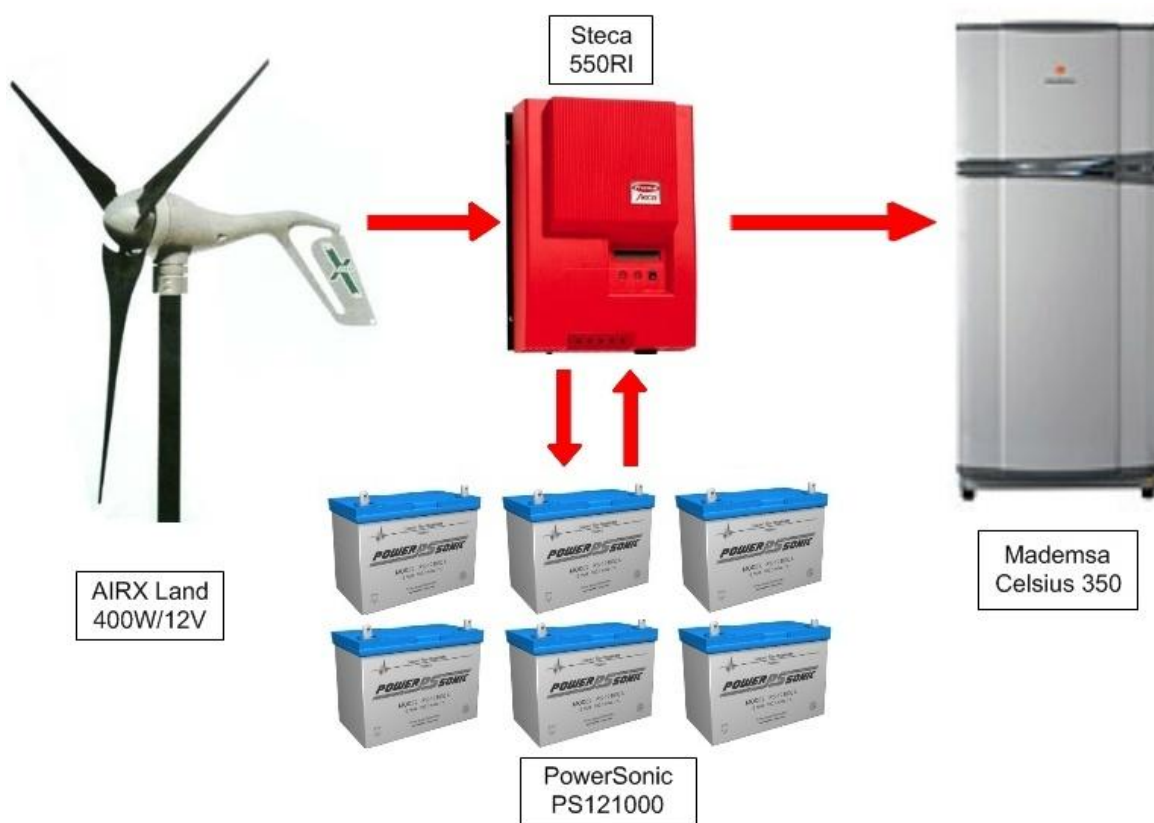
Fuente: Departamento de Energía, EE.UU.

Con la velocidad del viento determinada, se puede elegir el modelo de la turbina, y considerando las características de la carga a suministrar, se determina la configuración del resto del sistema de la misma manera que para los sistemas solares para suministro de cargas en corriente alterna (ver 6.2.1) y las interconexiones son similares a las de la Figura 11. Con esto, se obtienen las componentes del sistema de suministro que tiene una turbina eólica como captador de energía.

Para graficar la elección de componentes, se presenta un caso como ejemplo. El suministro de energía para asegurar el funcionamiento continuo de un refrigerador cuyo consumo es de 21,8 kWh/mes (según ensayos realizados bajo norma NCh3000 – 2006), con una potencia nominal de 100W.

Considerando una velocidad promedio mensual de viento de 5,1 m/s, los componentes del sistema son los siguientes (para más detalle acerca de la selección de los componentes, ver 7.1.3, Alternativa 1):

Figura 19: Sistema de domestico convencional de refrigeración de alimentos, suministrado con energía eólica



6.4. Proyectos utilizando biomasa

La utilización de biomasa se trabaja, en este informe, desde el punto de vista de obtención de biogás, el cual será utilizado para hacer funcionar un refrigerador a gas.

La cantidad de biogás que se obtiene depende de la cantidad y tipo de biomasa disponible (cantidad y tipo de residuos animales y vegetales) además de algunos parámetros medioambientales y constructivos del biodigestor.

6.4.1. Insumos para alimentar el biodigestor

En teoría, cualquier materia prima orgánica sirve para alimentar un biodigestor, pero existen diferencias en el poder calorífico del gas resultante según los distintos residuos que se utilicen. En general, los materiales deben tener un alto contenido energético y ser de fácil descomposición.

El estiércol de cualquier animal —incluyendo el de las personas— cumple con las características antes mencionadas, dado que ya ha sido digerido dentro del animal. Luego, se convierte fácil y

rápidamente en biogás. También pueden ser usados desechos vegetales, pero no se recomienda la utilización de éstos en altas concentraciones, dado que su digestión es muy lenta.

Es importante destacar que no es conveniente la entrada de químicos en el biodigestor, dado que esto afecta a las bacterias encargadas de realizar el proceso de digestión.

En la Tabla 7 es posible observar la cantidad de biogás, en promedio, producida diariamente por las excretas de distintos animales, mientras que, en la Tabla 8 se muestra la cantidad de biogás obtenida por hectárea de cultivo para algunos vegetales.

Tabla 7: Producción de biogás por tipo de residuo animal.

Estiércol	Disponibilidad Kg/día(*)	Relación C/N ²²	Volumen de biogás	
			m³/kg húmedo	m³/día/año
Bovino (500 kg)	10,00	25:1	0,04	0,4
Porcino (50 kg)	2,25	13:1	0,06	0,135
Aves (2 kg)	0,18	19:1	0,08	0,014
Ovino (32 kg)	1,50	35:1	0,05	0,075
Caprino (50 kg)	2,00	40:1	0,05	0,1
Equino (450 kg)	10,00	50:1	0,04	0,4
Conejo (3 kg)	0,35	13:1	0,06	0,021
Excretas humanas	0,40	3:1	0,06	0,025

Fuente: Manual de reciclaje orgánico y biogás: Aprovechamiento racional de residuos agropecuarios

(*): El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo el producto.

No está demás mencionar, que dada la naturaleza biológica de las materias primas utilizadas, éstas tienen un alto factor temporal dependiendo de la alimentación de los animales o de las épocas de cosecha de los vegetales.

²² Relación carbono/nitrógeno. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima es del orden de 30:1. Si hay exceso de nitrógeno, se produce amoníaco el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso. Si hay poco nitrógeno, las bacterias no se multiplican y por lo tanto se limitará la producción de biogás.

Tabla 8: Producción de biogás a partir de residuos vegetales.

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m³/Ton	m³/ha
Cereales (paja)				
Trigo	3,3	123:1	367	1.200
Maíz	6,4	45:1	514	3.300
Cebada	3,6	95:1	388	1.400
Arroz	4,0	58:1	352	1.400
Tubérculo (hojas)				
Papas	10,0	20:1	606	6.000
Betarragas	12,0	23:1	501	6.000
Leguminosas (paja)				
Porotos	3,2	38:1	518	1.650
Habas	4,0	29:1	608	1.400
Hortalizas (hojas)				
Tomate	5,5	12:1	603	3.300
Cebolla	7,0	15:1	514	3.600

Fuente: Manual de reciclaje orgánico y biogás: Aprovechamiento racional de residuos agropecuarios

6.4.2. El biodigestor

Un biodigestor es cualquier aparato que procesa materia orgánica para producir el biogás. Independiente del tipo que éste sea, un biodigestor cuenta de varias partes, comunes para todos los tipos, las cuales se detallan a continuación:

1. **Zona de Entrada de Material:** Corresponde a la zona donde se depositan los residuos orgánicos y se mezclan con el agua, para luego incorporarse a la cámara de digestión anaeróbica. Es necesario para que el material alcance la temperatura adecuada para ingresar a la cámara siguiente, de lo contrario las bacterias pueden verse afectadas, lo que redundaría en una disminución de la producción de biogás.
2. **Zona de Retiro del lodo:** Es la lugar en donde se almacena el material que es retirado del biodigestor. Su composición por lo general lo hace útil para ser utilizado como fertilizante en cultivos agrícolas, pero antes de utilizarlo como tal conviene asesorarse con un especialista para cerciorarse que el abono resultante no contenga materia dañina para el cultivo debido a algún problema en el proceso digestivo por las bacterias.
3. **Cámara de digestión anaeróbica:** Es el lugar donde se realiza el proceso de producción de biogás propiamente tal. Es en esta cámara libre de oxígeno, donde los residuos orgánicos conviven con las bacterias, produciéndose la digestión anaeróbica, y obteniéndose como resultado el biogás.

4. **Cámara de Almacenamiento del biogás:** Es el lugar donde se almacena el producto de la digestión anaeróbica, puede ser físicamente la misma cámara de digestión anaeróbica o una cámara anexa, dependiendo de las cantidades de biogás que se generen. Para biodigestores tradicionales de pequeño tamaño correspondería a la misma cámara de digestión anaeróbica.
5. **Filtros:** El biogás producido en los procesos de digestión anaeróbica no es 100% puro, por lo que es recomendable la utilización de filtros, los que comúnmente corresponden a una esponja metálica²³ para eliminar los sulfhídricos, pues éstos corroen los metales y dañan equipos.
6. **Equipos consumidores:** Son los equipos que utilizarán finalmente el biogás, ya sea una cocina, un refrigerador o una estufa. Estos equipos deben estar acondicionados para utilizar este tipo de gas, lo que normalmente se logra cambiando la boquilla de ingreso a los quemadores, de forma similar al cambio realizado para gas licuado a gas natural. Para transformar equipos que originalmente funcionaban con gas licuado, se debe cambiar boquillas por unas más grandes, dado que el biogás posee menor poder calorífico.
7. **Conductos, llaves y Cañerías:** Son necesarias para llevar los materiales de una cámara a otra, abrir y cerrar el paso del gas, y conducir el biogás de las cámaras a los lugares de uso. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, cobre, caucho o plástico. Se debe tener presente que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares. Idealmente deben ser tramos pequeños para ahorrar costos y pérdidas de presión del gas, evitando así la necesidad de adaptar a la línea un soplador. La tubería de gas debe estar provista de un sistema que permita eliminar el agua de condensación ya que generalmente el biogás está saturado con agua.

6.4.3. Ventajas e Inconvenientes de los Biodigestores

Como cualquier tecnología aplicada a la generación de energía, se pueden enumerar una lista de ventajas y desventajas que deben tenerse en cuenta a la hora de tomar la decisión de llevar a cabo el sistema, y luego en la operación del mismo.

Ventajas medioambientales y económicas:

- Producen biogás, que puede ser usado como combustible para, por ejemplo, cocinar alimentos sin que adquieran un olor o sabor extraño. Al utilizar esta fuente de energía se evita el uso de leña, contribuyendo a la disminución de la deforestación.
- El biogás puede ser utilizado como combustibles en equipos de refrigeración o para generación de electricidad.
- Es un proceso que le da al Metano un uso práctico antes de que naturalmente se vaya a la atmósfera. El Metano (CH_4) es el segundo gas invernadero en importancia, las moléculas de metano atrapan el calor con una eficacia 23 veces superior a la de una molécula de dióxido de carbono lo que lo hace un factor importante del calentamiento global²⁴
- Permiten aprovechar los excrementos, por lo tanto se ven disminuidos los problemas de contaminación de aguas, emisión de malos olores o la proliferación de insectos. Además

²³ Puede ser incluso, una virutilla de las utilizadas comúnmente para lavar ollas.

²⁴ "Desafíos y Estrategias para Implementar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas", INTA, Buenos Aires, Argentina, Mayo 2007

controlan los microorganismos capaces de generar enfermedades como el cólera, el tifus y la hepatitis por mencionar algunas patologías comunes.

- Mejoran la capacidad fertilizante del estiércol. El lodo producido en el proceso de generación del biogás genera un efluente rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio o magnesio, que son aprovechados directamente por las plantas. Este “abono” no posee mal olor, no atrae moscas y no contamina, ya que durante el proceso de fermentación se eliminan en forma drástica los microorganismos patógenos.

Inconvenientes de los biodigestores:

- Su ubicación debe estar próxima a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo, tanto para acumular los desechos orgánicos como para abaratar los costos que supone la canalización del sistema
- La temperatura al interior del biodigestor debe ser constante y cercana a los 35° C, lo que puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos. Sin embargo, existen métodos en el cual se calefacciona el biodigestor a partir del biogás producido por el mismo.
- El proceso puede generar, como subproducto, sulfuro de hidrógeno, un gas tóxico y corrosivo que puede, además, reducir la capacidad calorífica del biogás, encareciendo el proceso por la necesidad de depurarlo
- En caso de no cumplirse con las normas mínimas de seguridad para gases combustibles, existe riesgo de explosión. Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman un gas detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas en recintos cerrados que tengan fugas.
- Se requiere de una capacitación para el usuario, de forma de asegurar la correcta operación del sistema, pues al ser un proceso biológico se deben mantener un ecosistema óptimo para las bacterias al interior del biodigestor.

Se recomienda que hayan revisiones periódicas por parte de un especialista de las instalaciones para verificar el correcto funcionamiento de los sistemas.

7. CASOS DE ESTUDIO

Dado que, como se mencionó anteriormente, para realizar el diseño de un sistema de refrigeración suministrado por ERNC debe atenderse a los requerimientos de energía (determinados por los requerimientos de frío) y a la fuente de energética de la zona en la cual se va a instalar el sistema, debe abordarse ciertos casos determinados.

A continuación se presentan algunos casos de sistemas de refrigeración para distintos usos, ya sean comerciales o domésticos, considerando distintas fuentes de suministro de energía.

7.1. Diseño de un sistema doméstico para un refrigerador convencional (250 litros)

Existe un gran número de hogares a lo largo del país que no obtienen energía eléctrica de manera convencional, es decir, no están conectados al SING, al SIC, al Sistema de Aysén ni al de Magallanes. Aunque muchos hogares tienen energía eléctrica entregada por generadores diesel, u otros provistos por energías renovables no convencionales, estos sistemas no son capaces de suministrar los consumos de equipos de refrigeración.

Considerando el alza en la calidad de vida que conlleva incorporar la refrigeración de alimentos a un hogar, es que se hace muy relevante incluir el sector residencial en este trabajo. Para el caso residencial pueden utilizarse refrigeradores de 1 y 2 puertas, además de frigobar, equipos side by side y congeladores.

Como está establecido en la norma chilena NCh3000 – 2006, los refrigeradores de uso doméstico deben tener una etiqueta con un consumo promedio determinado por medio de un ensayo. Estos valores, si bien son referenciales, dan una idea de los consumos que deberán ser suministrados con energías renovables no convencionales. Para tener una idea de la magnitud de los consumos se muestran algunos valores para distintos refrigeradores:

Tabla 9: Características de refrigeradores

	Consumo [kWh/mes]	Potencia [W]	Capacidad [litros refrigerador/litros freezer]
Frigobar	7,56	60	130/22
1 puerta	16,8	-	185/30
2 puertas	21,8	100	250/30
Side by Side	39,41	170	315/193
Congelador	32	-	272

Fuente: Etiquetas de refrigeradores consultadas en tiendas

Ahora bien, si se pretende entregar la energía necesaria para hacer funcionar un sistema doméstico de refrigeración con paneles fotovoltaicos o una turbina eólica, además del consumo de los refrigeradores, se debe considerar lo siguiente:

- ✓ Radiación en el lugar a instalar el sistema o velocidad media del viento en la zona
- ✓ Características del panel (voltajes y corrientes nominales, eficiencia, superficie, etc.), o de la turbina

Luego, para realizar el diseño acá expuesto se considera un refrigerador de 2 puertas, con un consumo mensual de energía eléctrica de **21,8 kWh/mes**.

7.1.1. Almacenamiento de energía y regulación de carga

Existe una serie de elementos que es común para sistemas eólicos y fotovoltaicos, en el caso de accionar una carga que requiera corriente alterna. Estos artefactos son: baterías, reguladores de carga e inversores.

Baterías: se consideraron 2 alternativas para baterías de ciclo profundo, las cuales difieren en la corriente (amperes/hora), y por lo tanto en el tamaño, como puede apreciarse en la tabla siguiente:

Tabla 10: Características de paneles solares

	Modelo batería	Voltaje [V]	Corriente [Ah]	Dimensiones Largo x ancho x alto [cm]	Peso [kg]	Precio unitario [\$] ²⁵
Alternativa 1	Power Sonic PS-121000	12	100	30,5 x 16,8 x 22,8	31,2	127.000
Alternativa 2	Deka S8D SLD G LTP	12	265	52,7 x 27,9 x 27	71,2	345.000

Fuente: Datasheet de paneles publicados en la página web de Solener

Considerando que la magnitud del consumo del refrigerador escogido es de 21,8 kWh/mes (727 Wh/día) y que la eficiencia del inversor es de un 90% (es decir, las baterías deben entregar 897 Wh/día), para obtener 7 días de respaldo, con la alternativa 1 se requieren 6 baterías²⁶ (calculado según Ecuación 3), mientras que, con la alternativa 2, sólo se requieren 2 baterías.

Inversor y regulador de carga: al elegir el inversor debe tenerse en cuenta la potencia del artefacto que se va a conectar a él. Es importante tener en cuenta el hecho que una máquina frigorífica, en las partidas, consume hasta 5 veces su potencia nominal. Atendiendo a esto se escoge para este caso un Inversor STECA Solarix Sinus de 550 W, que tiene integrado el regulador de carga. Este inversor tiene un costo de \$489.000²⁵ y es capaz de suministrar de manera adecuada las partidas de los equipos. Este inversor tiene una eficiencia máxima declarada por el fabricante de 91%.

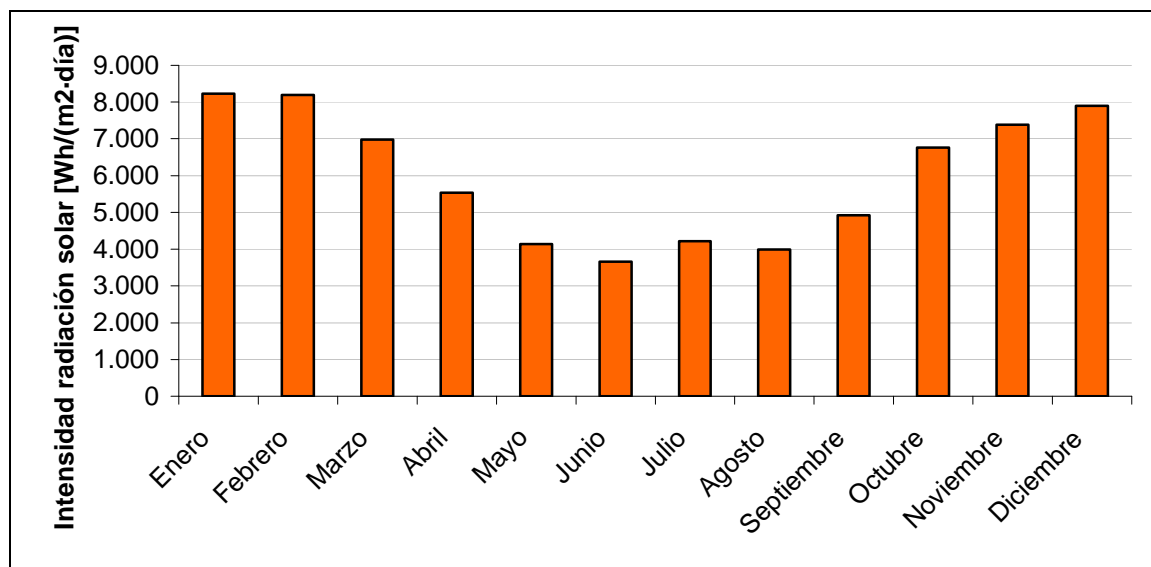
²⁵ Los precios mostrados corresponden a una cotización entregada por Solener, válida por el mes de septiembre de 2008

²⁶ Los cálculos entregan que la cantidad de baterías necesarias es de 5,4, sin embargo, se considera que es mejor sobredimensionar el sistema para asegurar su funcionamiento aun cuando el consumo del refrigerador sea más elevado (con condiciones más desfavorables que las condiciones de ensayo)

7.1.2. Captadores solares

Para realizar un cálculo estimativo del costo de un sistema solar fotovoltaico se considera que el sistema estará ubicado en un lugar con la intensidad de radiación solar, a lo largo del año, mostrada en la Figura 20.

Figura 20: Intensidad de radiación solar a lo largo del año en la localidad de Quillayal, Región Metropolitana



Fuente: Elaboración propia

Paneles: Para el proyecto se consideran 2 alternativas de paneles. El primero con una potencia de salida de 130 W, y el segundo con 85 W. En la Tabla siguiente se muestran algunas características de los paneles escogidos.

Tabla 11: Características de paneles solares

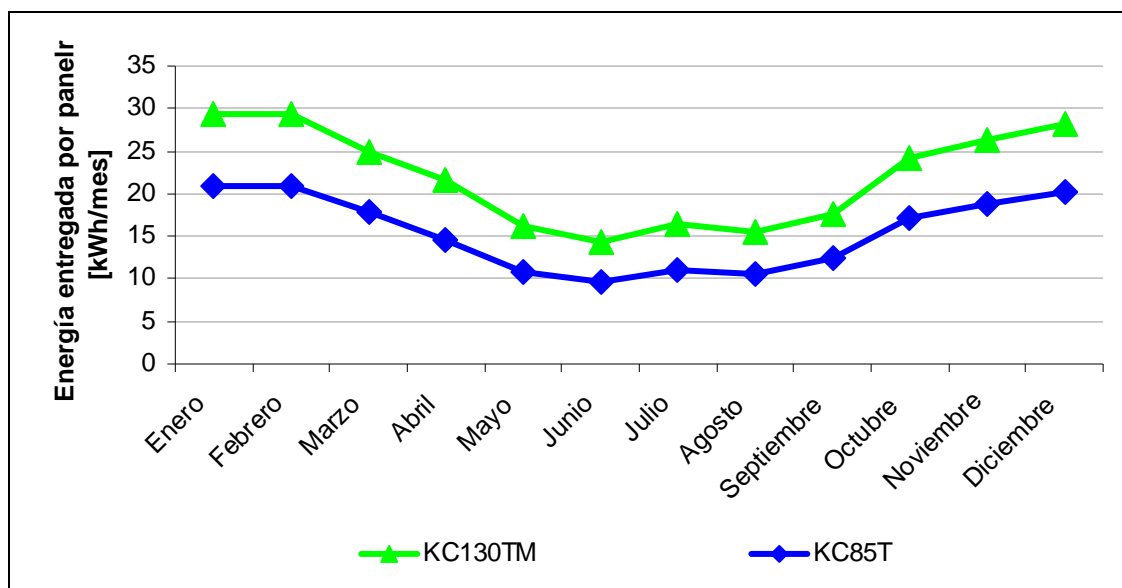
	Modelo panel	Voltaje óptimo [V]	Corriente óptima [A]	Potencia máxima [W]	Dimensiones Largo x ancho [m]	Precio unitario [\$] ²⁷
Alternativa 1	Kyocera KC130TM	17,6	7,39	130	1,425 x 0,652	520.000
Alternativa 2	Kyocera KC85T	17,4	5,02	87	1,007 x 0,652	340.000

Fuente: Datasheet de paneles publicados en la página web de Solener

Dadas las condiciones solarimétricas consideradas, los consumos se satisfacen para los días de menor radiación, con 2 paneles en el caso de la alternativa 1, y con 3 paneles en el caso de la alternativa 2, como se muestra en la Figura 21, la cual muestra la energía entregada por los paneles KC130TM y KC85T, cuando se encuentran instalados en una localidad con una intensidad de radiación como la mostrada en la Figura 20.

²⁷ Los precios no incluyen IVA

Figura 21: Energía entregada mensualmente por cada panel considerado, localidad de Quillayal



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, debe considerarse que es recomendable mantener las baterías protegidas para evitar su envejecimiento, y que los paneles deben fijarse en un plano inclinado. Para asegurar el resguardo de las baterías y la fijación de los paneles con un ángulo y orientación adecuados, se recomienda diseñar una caseta con una inclinación y orientación del techo adecuada y en un lugar donde no se proyecten sombras. Eventualmente esta sala puede ser iluminada por una ampolla, preferentemente de bajo consumo, alimentada por las mismas baterías. Esto es válido tanto para la alternativa 1 como para la alternativa 2.

Así, considerando todo lo necesario para la instalación un presupuesto estimativo es el siguiente, para el caso de la alternativa 1:

Tabla 12: Costo del sistema solar, Alternativa 1

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Refrigerador Mademsa Celsius 350 ²⁸	\$159.990	\$ 159.990
2	Panel Kyocera KC130TM, 130Wp	\$ 520.000	\$ 1.040.000
6	Batería PowerSonic PS121000, 12V/100Ah AGM Sellada	\$ 127.000	\$ 762.000
1	Inversor/Regulador de carga Steca 550RI, 550W	\$ 489.000	\$ 489.000
-	Instalación y otros ²⁹	\$700.000	\$ 700.000
		Total(*)	\$ 3.150.990

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Falabella y Solener

(*): Los precios no incluyen IVA

²⁸ Precio consultado en la página web de Falabella el 5 de Septiembre de 2008

²⁹ La “instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta los soportes para los paneles

Mientras que, para el caso de la segunda alternativa, un presupuesto estimativo es:

Tabla 13: Costo del sistema solar, Alternativa 2

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Refrigerador Mademsa Celsius 350 ³⁰	\$159.990	\$ 159.990
3	Panel Kyocera KC85T,85Wp	\$ 340.000	\$ 1.020.000
2	MK Solar SD8 SLD G LTP	\$ 345.000	\$ 690.000
1	Inversor/Regulador de carga Steca 550RI, 550W	\$489.000	\$ 489.000
-	Instalación y otros ³¹	\$700.000	\$ 700.000
		Total(*)	\$ 3.058.990

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Falabella y Solener

(*): Los precios no incluyen IVA

Cabe destacar que, considerando valores nominales, la primera alternativa es más robusta que la segunda. Esto se debe a que la cantidad de energía disponible en las baterías es mayor. En la alternativa 1 hay una corriente total disponible, en el caso de estar las baterías con el 100% de carga, de 600 Ah, mientras que en el segundo caso son 530 Ah. Además, al tener un número mayor de baterías más pequeñas, al terminar una su vida útil, puede desconectarse ésta del banco sin afectar mayormente el funcionamiento, si no que, sólo disminuyendo la cantidad de días de respaldo del sistema.

Por otro lado, considerando los paneles la situación es también favorable para la alternativa 1, la que suma un total de 260 Wp, contra 255 Wp de la segunda alternativa.

7.1.3. Captadores eólicos

Para evaluar un sistema de ERNC suministrado por una turbina eólica se considera el suministro de la misma carga que para el sistema solar descrito en 7.1.2, es decir, el refrigerador Mademsa Celsius 350, que según ensayos realizados bajo la Norma NCh3000 – 2006 tiene un consumo mensual de 21,8 kWh/mes (ver Tabla 9).

Considerando que el sistema de almacenamiento y suministro de energía³² (ver Figura 11) tiene una eficiencia del 80%, la energía entregada mensualmente por la turbina debe ser de 26,9 kWh/mes y que el hogar a abastecer está ubicado en una localidad cuya **velocidad promedio anual** del viento es de 5,1 m/s a la altura en que se encuentra el eje de la turbina, debe escogerse una que para esa velocidad de viento sea capaz de suministrar la carga requerida.

³⁰ Precio consultado en la página web de Falabella el 5 de Septiembre de 2008

³¹ La “instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta los soportes para los paneles

³² Corresponde al conjunto del regulador/inversor, junto con el banco de baterías, además de las protecciones y mecanismos de seguridad asociados.

Turbina Eólica: la turbina Air X Land³³ es capaz de entregar mensualmente, para una velocidad promedio anual del viento de 5,1 m/s, entre 25 y 35 kWh/mes, por lo tanto, es capaz de satisfacer el sistema doméstico, presentando incluso excedentes para el abastecimiento de otros consumos. La turbina tiene un costo de \$599.000.

Como no se está cambiando las características del consumo, si no que, sólo se modifica el captador de energía, el resto del sistema es el mismo que el considerado para el sistema solar (ver 7.1.2), así, los costos del sistema completo, variando, como en el caso solar, las características de las baterías consideradas, se muestran en la Tabla 14 y en la Tabla 15.

Como en el caso de captadores solares, es recomendable mantener las baterías y el inversor/regulador protegidos para evitar su envejecimiento. Para este fin se recomienda diseñar una caseta que, eventualmente puede ser iluminada por una ampolla, preferentemente de bajo consumo, alimentada por las mismas baterías.

Tabla 14: Costo del sistema eólico, Alternativa 1

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Refrigerador Mademsa Celsius 350 ³⁴	\$159.990	\$159.990
1	Turbina AIRX Land 400W/12V	\$599.000	\$599.000
6	Batería PowerSonic PS121000, 12V/100Ah AGM Sellada	\$ 127.000	\$ 762.000
1	Inversor/Regulador de carga Steca 550RI, 550W	\$ 489.000	\$ 489.000
-	Instalación y otros ³⁵	\$600.000	\$600.000
		Total(*)	\$2.609.990

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Falabella y Solener

(*): Los precios no incluyen IVA

Tabla 15: Costo del sistema eólico, Alternativa 2

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Refrigerador Mademsa Celsius 350 ³⁴	\$159.990	\$ 159.990
1	Turbina AIRX Land 400W/12V	\$599.000	\$ 599.000
2	MK Solar SD8 SLD G LTP	\$ 345.000	\$ 690.000
1	Inversor/Regulador de carga Steca 550RI, 550W	\$489.000	\$ 489.000
-	Instalación y otros ³⁵	\$ 550.000	\$ 550.000
		Total(*)	\$ 2.487.990

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Falabella y Solener

(*): Los precios no incluyen IVA

³³ Para información adicional, ver el datasheet en Turbina AIR Land-Marine.pdf

³⁴ Precio consultado en la página web de Falabella el 5 de Septiembre de 2008

³⁵ La “instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta el mástil para la turbina

7.2. Diseño de un sistema doméstico para un frigobar (130 litros)

La diferencia entre un refrigerador común y un frigobar, además del precio y la capacidad, está en la energía que demandará éste diariamente, lo que incide en la cantidad de paneles y baterías que se utilizarán para suministrar los consumos y en la potencia del artefacto, lo que está en directa relación con las características del regulador/inversor que formará parte del sistema.

En la Tabla 9 es posible apreciar que, según la Norma Chilena NCh3000 – 2006, la energía consumida por un frigobar³⁶ es de 7,56 kWh/mes, lo que significa que, bajo las mismas condiciones solarimétricas consideradas en el punto anterior (ver Figura 20), se puede suministrar el consumo con paneles de menor tamaño que los considerados en 7.1. En la Tabla 16 se aprecian las características de los paneles considerados.

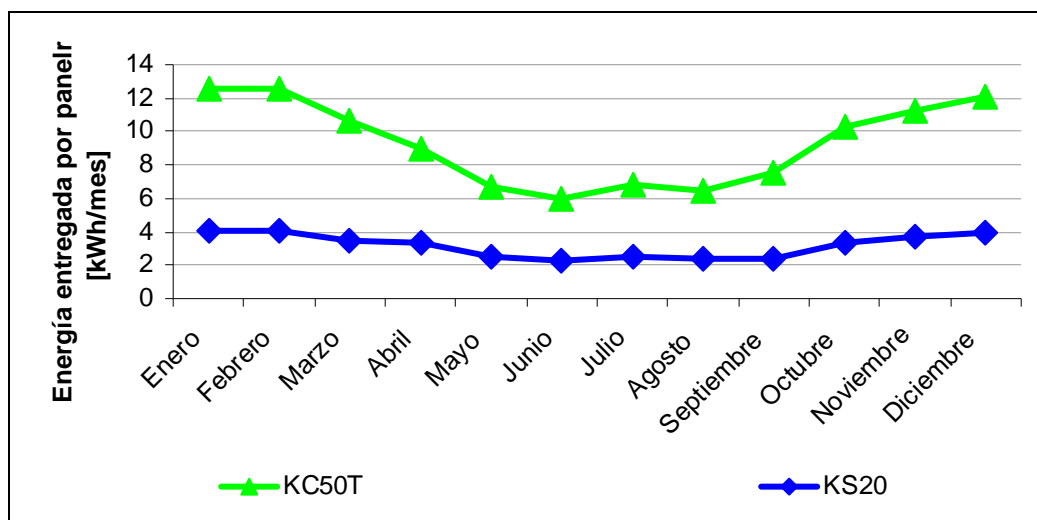
Tabla 16: Características de paneles solares

	Modelo panel	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia máxima [W]	Dimensiones Largo x ancho [m]	Precio unitario [\$] ³⁷
Alternativa 1	Solartec KS20 ³⁸	16,9	1,2	20	0,52 x 0,352	94.000
Alternativa 2	Kyocera KC50T ³⁹	17,4	3,11	50	0,639 x 0,652	200.000

Fuente: Datasheet de paneles publicados en la página web de Solener

Para cada uno de los paneles considerados se calcula la cantidad de energía que pueden entregar para las condiciones solarimétricas mostradas en la Figura 20.

Figura 22: Energía entregada mensualmente por cada panel considerado, localidad de Quiyayal



Fuente: Elaboración propia

³⁶ Bajo condiciones de ensayo

³⁷ Los precios mostrados corresponden a una cotización entregada por Solener, válida por el mes de septiembre de 2008 y no incluyen IVA

³⁸ Para información adicional, ver el datasheet en Panel Solartec_KS20.pdf

³⁹ Para información adicional, ver el datasheet en Panel_Kyocera_KC50T.pdf

La energía que deben suministrar los paneles fotovoltaicos, es de 9,33 kWh/mes (considerando la eficiencia del sistema). Con esto se calcula la cantidad de paneles necesarios, según el modelo de éstos. Así, se necesitan 2 paneles Kyocera KC50T o bien, 5 paneles Kyocera KS20.

Dado que el frigobar funciona con corriente alterna, es necesario considerar la utilización de un inversor. Existe la posibilidad, como en el caso anterior, de utilizar un inversor/regulador de carga o ambos por separado. En ambos casos debe considerarse que la potencia en las partidas es 5 veces la potencia nominal.

Cabe destacar que para la estimación de la cantidad de baterías y la cantidad de paneles, se considera que ambos (Inversor/regulador o Regulador + Inversor) tienen una eficiencia del 90%.

Tabla 17: Características de inversores/reguladores de carga

	Artefacto	Modelo	Potencia pico [W]	Corriente máxima [A]	Precio unitario [\$] ³⁷
Alternativa 1	Inversor/regulador	Steca 550RI ⁴⁰	550	-	489.000
Alternativa 2	Inversor	SureSine, Morningstar ⁴¹	600	-	389.000
	Regulador	Phocos CX10 ⁴²	-	10A	44.000

Fuente: Datasheet de artefactos publicados en la página web de Solener

Por otro lado, la energía generada por los paneles debe ser almacenada en baterías.

Tabla 18: Características de baterías

	Modelo batería	Voltaje [V]	Corriente [Ah]	Dimensiones Largo x ancho x alto [cm]	Peso [kg]	Precio unitario [\$] ³⁷
Alternativa 1	Power Sonic PS-121000 ⁴³	12	100	30,5 x 16,8 x 22,8	31,2	127.000
Alternativa 2	Power Sonic PS-12180 ⁴⁴	12	18	12,6 x 7,6 x 16,7	5,7	27.600

Fuente: Datasheet de baterías publicados en la página web de Solener

Luego, resumiendo, se muestran los costos de 2 alternativas, la segunda (Tabla 20) más costosa que la primera (Tabla 19). Sin embargo, se destaca el hecho de que la alternativa más costosa contempla el uso de 2 baterías, en lugar de 11, y contempla el uso de un regulador/inversor en vez de considerar estos artefactos por separado, lo que puede considerarse de mayor simplicidad. Por lo tanto, la decisión de compra depende de los requerimientos de cada proyecto.

⁴⁰ Para información adicional, ver el datasheet en Inversor-Regulador de Carga Steca_Solarix.pdf

⁴¹ Para información adicional, ver el datasheet en Inversor_MorningStar_Sure_Sine_300W.pdf

⁴² Para información adicional, ver el datasheet en Regulador_de_carga_Phocos_CX_10-20-40.pdf

⁴³ Para información adicional, ver el datasheet en Batería_PowerSonic_PS121000.pdf

⁴⁴ Para información adicional, ver el datasheet en Batería_PowerSonic_PS12180.pdf

Tabla 19: Costo del sistema fotovoltaico, Alternativa 1

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Frigobar LG GC 131 ⁴⁵	\$99.990	\$ 99.990
2	Panel solar Kyocera KC50T	\$200.000	\$ 400.000
11	Batería PowerSonic PS12180, 12V/18Ah AGM Sellada	\$ 27.000	\$ 297.000
1	Inversor SureSine, Morningstar	\$389.000	\$ 389.000
1	Regulador Phocos CX10	\$44.000	\$ 44.000
-	Instalación y otros ⁴⁶	\$350.000	\$ 350.000
		Total(*)	\$1.579.990

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Falabella y Solener
(*): Los precios no incluyen IVA

Tabla 20: Costo del sistema fotovoltaico, Alternativa 2

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Frigobar LG GC 131 ⁴⁵	\$99.990	\$ 99.990
5	Panel solar Solartec KS20	\$94.000	\$ 470.000
2	Batería PowerSonic PS121000, 12V/100Ah AGM Sellada	\$ 127.000	\$ 254.000
1	Inversor/Regulador de carga Steca 550RI, 550W	\$ 489.000	\$ 489.000
-	Instalación y otros ⁴⁶	\$350.000	\$ 400.000
		Total(*)	\$1.712.990

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Falabella y Solener
(*): Los precios no incluyen IVA

A la hora de evaluar las características del sistema a implementar se recomienda, al igual que en el caso del refrigerador en convencional de 250 litros, considerar no sólo factores de costos para la decisión de compra, si no que cantidad de energía generada, de energía almacenada y la cantidad de baterías, las cuales, eventualmente, pueden alargar la vida útil del proyecto⁴⁷.

7.3. Diseño de un sistema de refrigeración residencial de corriente continua, alimentado por paneles fotovoltaicos

En el mercado de productos alimentados por energía solar, existen refrigeradores que funcionan con corriente continua, los que tienen la ventaja de no tener altas exigencias en las partidas y no necesitar

⁴⁵ Precio consultado en la página web de Falabella el 14 de Octubre de 2008

⁴⁶ La “instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta el mástil para la turbina

⁴⁷ Si se tiene varias baterías pequeñas, al eliminar una del sistema por falla sólo se reduce un poco los días de respaldo con los cuales fue diseñado originalmente el proyecto, en cambio, si se tiene pocas baterías de gran capacidad, al eliminar una se estará reduciendo drásticamente los días de respaldo

de un inversor. Para este caso se evalúan los requerimientos de un refrigerador SunDanzer, modelo Solisto 271DCR25, de 225 litros de capacidad.

El sistema de suministro energético se dimensiona según la temperatura media y las horas de sol equivalentes del lugar donde va a instalar este sistema. Los resultados mostrados corresponden a los obtenidos luego de la aplicación de la metodología expuesta en 6.2.2, con información solarimétrica similar a la mostrada en la Figura 20⁴⁸,

Los supuestos considerados para la determinación del tamaño de la instalación fotovoltaica:

- Se considera una temperatura de diseño de 80°F (26,7°C) lo que es aproximadamente un 30% mayor que la temperatura del mes más caluroso
- Se considera un promedio de 5 horas de sol equivalentes diarias

Tabla 21: Costo del sistema de refrigeración en corriente continua, alimentado con paneles fotovoltaicos

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Refrigerador Solisto 271DCR225	\$1.150.000	\$1.150.000
1	Panel Kyocera KC85T,85Wp	\$ 340.000	\$ 340.000
2	PowerSonic PS121000, 12V/100Ah AGM Sellada	\$ 127.000	\$254.000
1	Regulador de carga Phocos CX20, 20A 12A/12-24V	\$77.000	\$77.000
-	Instalación y otros ⁴⁹	\$600.000	\$600.000
		Total(*)	\$2.421.000

Fuente: Elaboración propia en base a cotización en Solener

(*): Los precios no incluyen IVA

Cabe destacar que al igual que en los casos anteriores, debe destinarse un espacio, idealmente cercano a la máquina, para el resguardo de las baterías y del regulador de carga y que el panel debe estar fijo a una superficie con una inclinación y una orientación adecuadas, en un lugar donde no se proyecten sombras en ningún momento del día.

7.4. Diseño de un sistema de refrigeración residencial alimentado por biodigestores

En el mercado nacional existe una escasa oferta de refrigeradores y congeladores a gas, aún menos diseñados para funcionar con biogás. Es por esto que, para el diseño del sistema, se utiliza un refrigerador a gas tradicional, el cual es modificado para operar con biogás, realizando el cambio de boquilla en la entrada del gas para asegurar la presión correspondiente.

⁴⁸ Considerar la tabla del archivo anexo Tabla_dimensionamiento_Sist_CC.pdf

⁴⁹ La “instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta los soportes para la fijación de los paneles

Según la literatura 1 m³ de biogás es equivalente a 0,52 kg de Gas licuado, con lo que los consumos diarios en términos de metros cúbicos de biogás de los refrigeradores mencionados son 1,85; 0,48 y 0,58 m³ respectivamente. Algunos de los refrigeradores existentes en el mercado nacional se muestran a continuación:

Tabla 22: Características refrigeradores a gas

Modelo Refrigerador	Consul CQG-22	Dometic RM 4211	Dometic RM 7361
Capacidad Total [litros]	215	60	88
Refrigerador	184		
Freezer	31		
Dimensiones [mm]			
Alto	1450	620	821
Ancho	595	490	486
Fondo	692	455	537
Consumo Gas [gr/día]	960	250	300
Precio [pesos chilenos]	429.990 ⁵⁰	555.000 + IVA	793.000 + IVA
Otros	Refrigerador a gas de dos puertas. Auto encendido y válvula de seguridad	Funciona a gas y electricidad (12 V y 220 V) Corte automático del gas en caso de apagado de la llama	

Fuente: Catálogos de refrigeradores

Por otro lado, si se considera el funcionamiento del refrigerador de mayor tamaño, con estiércol de bovino fresco (tiene del orden de 10 a 20% de sólidos totales), y si se utiliza un digestor de carga continua, se requiere agregar agua en una relación de 1:1 (agua : estiércol) ; o sea con 5 bovinos, se tiene diariamente una mezcla equivalente a 100 litros, lo que generaría, del orden de 2 m³ de biogás. Esto significa que con 3 bovinos, se puede disponer diariamente 60 litros de mezcla, para generar aproximadamente 1,2 m³ de biogás. Por otra parte para calcular el tamaño mínimo del digestor de carga continua, se debe considerar el tiempo de retención⁵¹ multiplicado por el volumen de carga diaria, por ejemplo, si diariamente se cargan 100 litros de mezcla y el tiempo de retención es de 20 días se necesitaría como mínimo un digestor de 2.000 litros, lo que se traduce en 2 m³ como mínimo para que la mezcla permanezca el tiempo suficiente dentro del biodigestor. Pero, además, el tamaño depende del tipo de construcción del digestor, por lo que hay que observar también como referencia la Tabla 23, donde se obtiene una aproximación del tamaño del biodigestor según el tipo de construcción del mismo y los requerimientos diarios de gas. Por ejemplo, para un digestor tipo chino y una cantidad de 2 m³ diarios de biogás el volumen necesario del digestor es entre 10,1 y 20,2 m³.

En el ANEXO 6 se encuentra un resumen sobre los distintos tipos de construcciones y sus características.

Cabe mencionar que los cálculos descritos en esta sección son en base a tablas típicas de referencia y pueden variar dependiendo de la zona geográfica y las condiciones climáticas en donde se encuentra instalado el biodigestor. En la sección 8.2.3 se describen los cuidados que se deben tomar en cuenta al momento de operar un biodigestor, lo que deja de manifiesto la importancia del factor

⁵⁰ Precio obtenido a través del portal web de Almacenes Paris el 24 de Octubre de 2008

⁵¹ Tiempo en el cual la mezcla orgánica con agua permanece al interior del biodigestor

temperatura y la cantidad de materia orgánica disponible limitando en cierta forma posibles lugares donde sería posible la instalación.

Tabla 23: Tamaño requerido de un biodigestor según los requerimientos de gas

GLP necesario por día [gramos]	Biogas necesario por día [m³]	Tamaño Biodigestor [m³]			
		Chino		Indio	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
250	0,48	4,8	2,4	2,4	1,6
350	0,67	6,7	3,4	3,4	2,2
450	0,87	8,7	4,3	4,3	2,9
550	1,06	10,6	5,3	5,3	3,5
650	1,25	12,5	6,3	6,3	4,2
750	1,44	14,4	7,2	7,2	4,8
850	1,63	16,3	8,2	8,2	5,4
950	1,83	18,3	9,1	9,1	6,1
1.050	2,02	20,2	10,1	10,1	6,7

Fuente: Elaboración propia

En el caso de que la temperatura ambiente no sea la más óptima (30 a 35°C), será necesario calefaccionar el interior del biodigestor para mantenerlo sobre los 20°C. Para realizar esto, una forma sencilla es utilizar el mismo biogás generado como combustible de un sistema de calefacción dentro del tanque digestor, lo que repercute en un mayor consumo diario de biogás y por ende un necesario aumento de tamaño del digestor y de una mayor cantidad de material orgánico para la producción del mismo.

7.5. Diseño de un sistema comercial de fabricación de hielo

Para algunas aplicaciones productivas, no es suficiente mantener un recinto a una temperatura adecuada (la cual varía según el producto), si no que es necesario producir hielo para mantener los alimentos en buen estado, como es el caso de la conservación del pescado (fresco enfriado).

Para abastecer de hielo a una caleta de pescadores existen 2 alternativas, en las cuales, además de los artefactos que conforman el sistema solar o fotovoltaico debe considerarse el resguardo de baterías, regulador e inversor (cuando corresponda) de condiciones adversas.

7.5.1. Utilización de una máquina productora de hielo en escamas

Para mantener el pescado se utiliza hielo en “escamas”, el cual es fabricado por máquinas especiales, las cuales deben estar conectadas a una fuente de suministro eléctrico, además de una fuente de suministro de agua.

Se realizó la cotización de una máquina capaz de producir 250 kilogramos de hielo en 24 horas, con un consumo promedio de electricidad (considerando que la temperatura de entrada del agua a la máquina es de 15°C) de 3,6 kWh por cada 45,36 kilogramos de hielo producido⁵². La máquina de marca Brema mencionada tiene un costo de \$3.528.000 + IVA (ver archivo adjunto Fabricadora_de_hielo_BREMA_G-250,_250kg-dia.pdf).

Dado que los consumos energéticos del funcionamiento continuo (máxima producción los 365 días del año) son demasiado elevados para ser suministrados con energías renovables no convencionales, y que los requerimientos de hielo no son tan elevados considerando que se suministrará pequeños productores, no se hará funcionar la máquina a su máxima capacidad durante los 365 días del año, si no que se evalúa considerando los requerimientos energéticos para producir aproximadamente una tonelada de hielo mensual. Así, si se considera que se quiere fabricar 1 tonelada de hielo mensual, es necesario suministrar a la máquina 79 kWh/mes, lo que significa que, considerando una eficiencia del sistema de 81%, la turbina debe entregar 97,5 kWh/mes.

Con los requerimientos energéticos definidos, y considerando que la velocidad promedio mensual del viento, en la zona a ubicar el proyecto es de 5,4 m/s, se escoge la instalación de una turbina Whisper 200 (ver archivo adjunto Turbinas_Whisper_100-200.pdf), que, para esa velocidad promedio mensual del viento, es capaz de entregar 158 kWh/mes. Esta cantidad de energía es mayor a la requerida para la fabricación de una tonelada de hielo mensual. Así, considerando la eficiencia del sistema (81%), el sistema eólico – fabricadora de hielo en escamas, es capaz de producir 1.620 kg de hielo al mes.

Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de hielo que en primera instancia es posible producir, existe una serie de problemas a considerar si es que se decide implementar un proyecto de este estilo. Entre los problemas principales destacan:

- **Elevada necesidad de agua:** por cada kilogramo de hielo producido se necesita alrededor de 1,2 litros de agua, por lo tanto, para producir los 1.620 kg de hielo debe asegurarse el suministro de 1.944 litros de agua
- **Calidad del agua:** Los fabricantes de máquinas recomiendan ablandar el agua suministrada para el mejor funcionamiento de esta máquina
- **Alta exigencia para las baterías:** durante las partidas el refrigerador tiene una demanda de potencia de hasta 5 veces la potencia nominal (ver Figura 10), lo cual representa una gran exigencia para las baterías

Dado que no se considera una operación continua, se evalúa el proyecto con una autonomía para la producción de 200 kg de hielo, lo que se consigue (considerando una eficiencia del sistema de

⁵² Dado que la información del consumo eléctrico por kilogramo de hielo producido no está disponible para la máquina cotizada, se considera la información de otra productora de hielo, aumentando en un 10% el consumo, así, si la máquina original (New Flaked Ice Machines with AutoSentry: FME1204) reporta un consumo de 0,072 kWh/kg de hielo, el consumo considerado para realizar los cálculos es de 0,079 kWh/kg.

suministro y almacenamiento de energía (inversor + baterías + protecciones) del 81%) con 6 baterías⁵³ de 265 Ah (ver archivo adjunto Batería_S8D-SLD-G-LTP_225_Ah-12V.pdf).

Considerando que la potencia nominal de la máquina es de 1.050 W, y que en la partida el consumo será alrededor de 5 veces la potencia nominal, debe considerarse que el inversor debe entregar, al menos 5,25 kW de potencia. Se escogió el inversor Quattro 5kVA, que es capaz de suministrar peaks de potencia de 8kW (ver archivo adjunto Inversor Quattro 5 kVA.pdf). Este inversor es además, regulador de carga y tiene incorporado el cargador de baterías.

Tabla 24: Costo del sistema eólico de fabricación de hielo en escamas

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Fabrica de hielo en escamas Brema modelo G250 ⁵⁴	\$3.528.000	\$3.528.000
1	Turbina Whisper 200	\$2.890.000	\$2.890.000
6	Batería Deka S8D SLD G LTP	\$ 345.000	\$ 2.070.000
1	Inversor Quattro 5kVA	USD\$ 4.390(*)	\$ 2.771.539
-	Instalación y otros ⁵⁵	\$2.400.000	\$2.400.000
		Total (**)	\$13.659.539

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Famadich, Heliplast y Solener

(*): El valor del dólar considerado es \$631,33, del día 17 de Octubre de 2008

(**): Los precios no incluyen IVA

7.5.2. Utilización de un frigorífico en el cual de congele líquido (cubos de hielo)

Existe una alternativa de máquinas frigoríficas con motores de corriente continua. Estas máquinas no funcionan como fabricadoras de hielo en escamas, si no que funcionan como un freezer, por lo tanto, no hay requerimientos de pureza para el agua, pudiendo utilizarse, en cubetas o similares, agua de mar para la fabricación de hielo.

La energía para el funcionamiento es suministrada por paneles fotovoltaicos y es almacenada en baterías, y como el motor de la máquina es un motor de corriente continua no necesita un inversor.

Los supuestos considerados para la determinación del tamaño de la instalación fotovoltaica, según la metodología expuesta en 6.2.2, obteniendo la cantidad de potencia que se requiere instalar en paneles solares y la cantidad de amperes/hora requeridos en baterías del archivo adjunto Tabla_dimensionamiento_Sist_CC.pdf, son:

⁵³ La cantidad de energía necesaria para producir 200 kg de hielo es de 15,8 kWh, lo que, considerando que la eficiencia del inversor es de 90%, significa que en las baterías debe haber almacenados al menos 17,56 kWh. Las baterías consideradas (12V, 265 Ah) pueden almacenar 3,18 kWh, lo que se logra con 5,5 baterías. Para asegurar robustez del sistema, se cotizan 6 baterías.

⁵⁴ La máquina requiere un Bin para la recepción del hielo producido, el modelo 240 PE va incluido en el precio mostrado

⁵⁵ “Instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta el mástil para la turbina

- Se considera una temperatura de diseño de 80°F (26,7°C)
- Se considera un promedio de 5 horas de sol equivalentes diarias

Con esto, se obtiene que es necesario tener 248 W como potencia instalada en paneles, lo que se alcanza con 2 paneles de 130 W, y 481 Ah, para lo cual se considera la incorporación al sistema, de 2 baterías de 265 Ah, así se sobredimensiona el sistema para dar mayor seguridad al suministro.

Dado que no se considera un inversor, y que en la mayoría de los casos éste tenía integrado el regulador de carga, debe cotizarse uno de estos artefactos. Se escogió el Regulador de carga Phocos CX40, que es capaz de soportar 40A, lo que asegura el correcto funcionamiento de los artefactos.

Tabla 25: Costo del sistema de refrigeración en corriente continua, alimentado con paneles fotovoltaicos

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Freezer Solisto 271DCF225	\$1.150.000	\$1.150.000
2	Panel Kyocera KC130T, 130Wp	\$ 520.000	\$ 1.040.000
2	Deka S8D SLD G LTP	\$ 345.000	\$690.000
1	Regulador de carga Phocos CX40, 40A 12A/12-24V	\$98.000	\$98.000
-	Instalación y otros ⁵⁶	\$800.000	\$800.000
		Total(*)	\$3.258.000

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Falabella y Solisto

(*): Los precios no incluyen IVA

El hielo y los pescados deben permanecer almacenados, hasta su comercialización en un ambiente que minimice las pérdidas de frío para reducir la producción de hielo necesaria. Para esto es necesario construir un recinto que minimice el intercambio de calor con el exterior, es decir, construido de materiales aislantes de buena calidad. Para estos efectos se considera una bodega como la mostrada a continuación, pero, sin el compresor que enfríe el ambiente.

7.6. Diseño de una bodega refrigerada para fines productivos

Considerando que para minimizar pérdidas en una cámara de frío se requiere que ella esté completamente sellada, que la instalación de puertas sea lo más hermética posible, que las instalaciones eléctricas y el montaje del compresor y evaporador sean confiables, se opta por la opción de que una sola empresa realice todo el trabajo.

Las cámaras especificadas en las cotizaciones incluyen el montaje estructural, montaje electromecánico (instalación del compresor, evaporador, accesorios de refrigeración, tablero eléctrico, etc.), prueba de hermeticidad de alta presión, carga refrigerante, puesta en marcha, y supervisión en funcionamiento, sin incluir el piso (radier), tampoco flete ni empalme eléctrico.

⁵⁶ La “instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta el mástil para la turbina

El radier, propuesto tiene una dimensiones de 250 mm de espesor y una Conductividad Térmica de 0,8 W/m°C. Las dimensiones de la cámara, y se estima⁵⁷ que, considerando costos de materiales y mano de obra, el costo del radier varía en torno a los \$ 320.000.

7.7. Diseño de bodega refrigerada para fines productivos

Según la cotización de FROSTCHILE, el material empleado para el cuarto de frío es Poliestireno Expandido, de 100 mm espesor y una densidad aproximadamente 22 kg/m³. Este material tiene una conductividad de 0,35 W/m²°C. Las dimensiones de las cámaras de frío de acuerdo a la capacidad de almacenar se muestran en la Tabla 26.

De aquí en adelante se denominará cámara grande a la cámara con capacidad de 500 kg, mediana a la de 350 kg y pequeña a la de 200 kg

Tabla 26: Dimensiones de la bodega de almacenamiento en metros, según capacidad

	Capacidad		
	200 kg	350 kg	500 kg
Largo	3 m	3,5 m	4 m
Ancho	2,5 m	3 m	4 m
Alto	2,2 m	2,2 m	2,2 m
Volumen	16,5 m ³	23,1 m ³	35,2 m ³

Fuente: Elaboración propia

7.7.1. Calor debido a intercambio de paredes con el espacio exterior

Para efectos de cálculo, se considera para Santiago una temperatura de diseño de 30 °C⁵⁸, para estimar el máximo trabajo del compresor. La temperatura mínima de conservación al interior de la cámara se consideró de 0°C.

Para calcular el calor debido al intercambio con el medio externo se emplea la Ecuación 8 (ver ANEXO 2), considerando, para el cálculo de U ⁵⁹ (Ecuación 9) que f_e es 34 W/m²°C y f_i es 9,6 W/m²°C, y la conductividad del material, k , a emplear es 0,35 W/m²°C.

Con estos datos se obtiene entonces, que la **transferencia de calor a través de las paredes** es **303,4 kcal/hr** (para cámara grande), **246,5 kcal/hr** (para cámara mediana) y **208,6 kcal/hr** (para cámara pequeña)

⁵⁷ Dado que estás estructuras son hechas por maestros albañiles, es difícil obtener una cotización formal. Sin embargo, para esta puede consultarse a maestros de la zona donde se va a instalar el proyecto.

⁵⁸ Temperatura media máxima anual, registrada en el mes de Enero

⁵⁹ Todas las paredes, y techo tienen la misma conductividad térmica

Para el cálculo de la *transferencia de calor a través del techo*, se considera el mismo procedimiento anterior, sin embargo a la temperatura de diseño exterior se le aplica un factor de corrección por el hecho de que los rayos del sol inciden directamente (aumenta en 6,6 °C), así la temperatura exterior asciende a 36,6 °C. Luego el calor perdido a través de las paredes es de **168,2 kcal/hr** (para cámara grande), **110,4 kcal/hr** (para cámara mediana) y **78,9 kcal/hr** (para cámara pequeña)

Para el cálculo de calor a través del piso, dado que esta en contacto con el suelo, se considera que la temperatura exterior decrece por tanto a la temperatura de diseño se le aplica un factor de corrección (desciende en 11,2 °C), así la temperatura a emplear es de 18,9 °C.

El piso tiene un espesor de 250 mm y la conductividad térmica es de 0,8 W/m°C, volviendo a la Ecuación 9 para el cálculo de U, y además que $f_e = 0$, con esto se tiene una *transferencia de calor de a través del piso* es de **620,2 kcal/hr** para la cámara grande, **407,0 kcal/hr** para la cámara mediana y **290,7 kcal/hr** para la cámara pequeña.

Dado que las cámaras de frío serán iguales en las 3 zonas geográficas, las pérdidas de calor solo dependerán de la temperatura máxima. Para el caso de Santiago esta fue considerada de 30°C. Para Antofagasta esta fue de 24,5 °C y Puerto Montt de 21 °C, y aplicando los respectivos valores de corrección se tiene que, los calores totales según zona geográfica y tamaño de cámara son los mostrados en la Tabla 27:

Tabla 27: Calor debido a intercambio de paredes, techo y piso en kcal/hr,

	Capacidad		
	200 kg	350 kg	500 kg
Antofagasta	444	584	830
Santiago	578	764	1.092
Puerto Montt	358	469	664

Fuente: Elaboración propia

7.7.2. Calor debido a intercambio térmico con productos y calor de respiración

Dado que la temperatura es regulable, y que el producto no se congela, se emplea la Ecuación 10 para calcular el calor entregado por el producto, (ver ANEXO 2). En la Tabla 58 (ANEXO 3) se mencionan algunas propiedades térmicas de varias frutas y hortalizas producidas a lo largo del país. Como se puede apreciar en ella, los calores específicos oscilan entre los 0,86 y 0,92 Btu/(lb x °F). Para efectos de cálculos se emplea el valor más alto.

De la Ecuación 10, y considerando que la temperatura inicial del producto es la temperatura media del ambiente (para efectos de cálculo se consideró la **máxima mensual de las temperaturas medias**), en el caso de Santiago ésta fue en el mes de Enero y ascendió a los 22°C (ver Tabla 57) manteniendo una capacidad de productos de 500 kg, se tiene que el calor ocupado para enfriar estos productos es de, para Santiago **418,4 kcal/hr**.

Dado que un producto va cambiando su temperatura durante su enfriamiento, se considera, para efectos de cálculos de calor por respiración, el promedio de todos los productos a las temperaturas dadas (Tabla 59, ANEXO 3), así el calor resulta ser 0,115 Btu/(lb x hr). Así para 500 kg de producto se tiene un calor de respiración total de **31,7 kcal/hr**.

Empleando la misma metodología para las ciudades de Puerto Montt y Antofagasta, solo variando la temperatura de entrada de los productos, y variando la cantidad de producto enfriado se aprecian las cargas de calor estimadas según ciudad y carga enfriada en la Tabla 28

Tabla 28: Calor debido a enfriamiento y respiración de productos (en kcal/hr) según ciudad y carga

	Capacidad		
	200 kg	350 kg	500 kg
Antofagasta	172	302	431
Santiago	180	315	450
Puerto Montt	127	222	317

Fuente: Elaboración propia

7.7.3. Calor debido a cambio de aire

El calor debido al cambio de aire se calcula según la Ecuación 12. Para el cálculo se consideran los volúmenes de las salas de frío mostrados en la Tabla 26; mientras que el número de cambios de aire durante 24 horas se obtienen de la Tabla 60 (ANEXO 3) los que son iguales a 15,9 en el caso de la cámara grande, 20,9 para la mediana y 26,0 para la cámara pequeña. En el caso de Santiago la humedad considerada fue de 50% humedad relativa, así se tiene un Q de 2 BTU/pie³. Tanto para Antofagasta como para Puerto Montt se consideró una humedad relativa de 70% con lo los Q respectivo son de 1 y 1,6 BTU/pie³. Luego los calores obtenidos mediante la Ecuación 10 quedan resumidos en la Tabla 29.

Tabla 29: Calor producido por renovaciones de aire (en kcal/hr)

	Capacidad		
	200 kg	350 kg	500 kg
Antofagasta	158	178	206
Santiago	315	355	412
Puerto Montt	252	284	317

Fuente: Elaboración propia

7.7.4. Calor producido por motores eléctricos

En el diseño del motor a estimar, se tendrá que éste realiza el trabajo útil dentro del espacio frío y disipa las pérdidas fuera de éste. El compresor empleado consta de 2 motores de ventilador, a los cuales se les desconoce la potencia, se asumirá una potencia estándar de 0,25 HP.

El calor aportado por uno de estos motores depende de donde se efectuó su trabajo útil y su carga. Estos calores están tabulados en la Tabla 61 (ANEXO 3), así, se tiene que el calor aportado por dos motores eléctricos del ventilador de 0,25 HP es de **318,1 kcal/hr**, (valor sobreestimado, se ha supuesto uso constante del ventilador). Este calor es igual para las tres ciudades y es independiente del tamaño de la cámara.

7.7.5. Calor producido por luces y personas

Se considera para este cálculo que una persona está al menos 2 horas al día dentro del espacio de frío. El calor equivalente para una persona a las condiciones dadas está en el ANEXO 3, Tabla 62, de donde se desprende que el calor aportado por la persona, mientras la temperatura al interior de la cámara de frío es 32°F (0°C), es de **928 Btu/hr**.

Además se consideraron 2 luces fluorescentes, de potencia 36 W, se supondrá que estas luces pasan a lo más 8 horas al día, de donde se desprende que el calor aportado por este concepto es de **82,8 Btu/hr**.

Así el calor total por ambos conceptos es de **40 kcal/hr**, (este calor es un promedio cada 24 horas). Estos supuestos son válidos para los tres tipos de cámaras y es independiente de la ciudad, pues no depende de las condiciones externas.

7.7.6. Calor total

En la Tabla 30 se puede apreciar el calor total del compresor sujeto a las condiciones más extremas. La carga máxima corresponde a la etapa de enfriamiento, que tiene una duración aproximada de 24 horas. Se ha supuesto que un producto permanece 3 días almacenado, durante el primero, el producto se enfría, entonces están presentes todas las cargas térmicas y es donde el compresor realiza la mayor carga, en los dos días restantes dado que el producto ya está frío, calor por enfriamiento del producto es cero (está en equilibrio térmico con la cámara) y el calor de respiración es despreciable, entonces aquí el compresor estará con una carga media. Así se tiene la siguiente tabla que muestra los calores máximo y medio en las 3 ciudades, según la cantidad enfriada:

Tabla 30: Cargas máxima y media bajo condiciones extremas para las bodegas refrigeradas en kcal/hr

	Capacidad 200 kg		Capacidad 350 kg		Capacidad 500 kg	
	Carga máxima [kcal/hr]	Carga media [kcal/hr]	Carga máxima [kcal/hr]	Carga media [kcal/hr]	Carga máxima [kcal/hr]	Carga media [kcal/hr]
Antofagasta	1.131	959	1.421	1.119	1.826	1.395
Santiago	1.431	1.251	1.792	1.477	2.313	1.863
Puerto Montt	1.095	968	1.333	1.111	1.669	1.352

Fuente: Elaboración propia

7.7.7. Características del compresor

De acuerdo a la cotización el compresor posee las siguientes características:

Tabla 31: Características del compresor utilizado en las bodegas refrigeradas

	Capacidad enfriamiento [W]	Potencia entrada [HP]	Corriente [A]	Frecuencia [Hz]	Voltaje [V]
Cámara grande y mediana	2.800	2	3,31	50	230
Cámara pequeña	2.400	1,8	3,31	50	230

Fuente: FROSTCHILE

Estas características son aplicables al compresor para cámaras grandes y medianas, el compresor de cámara pequeña posee una potencia de 1,8 HP y una capacidad de enfriamiento a 0°C de 2.400 kcal/hr.

7.8. Cálculos de consumo de electricidad

Para realizar el dimensionamiento del sistema, se realizaron los cálculos en función de la carga máxima. Para la estimación del consumo de energía eléctrica, es necesario estimar la carga promedio mes a mes, cálculo que necesita como único argumento, la temperatura media mensual⁶⁰ en la zona a realizarse los proyectos. En la Tabla 57 (ANEXO 3) muestra las temperaturas medias para cada mes del año según el Anuario 2006, de la Dirección Meteorológica de Chile:

Empleando la metodología anterior, se puede estimar el Q máximo promedio (considerando la etapa de enfriamiento productos y calor de respiración), y el Q medio promedio (sin las cargas ligadas a los productos). Se puede hacer esta distinción debido a que el enfriamiento del producto solo dura en promedio 24 horas, sin embargo se estima que un producto está 72 horas almacenado. Cuando el producto ha alcanzado la temperatura de la cámara, está en equilibrio térmico con ésta, por tanto no genera calor, y si bien el producto sigue vivo, su actividad orgánica es menor y el calor por respiración se hace despreciable. Así, una vez que el producto está enfriado, solo hay pérdidas de calor por intercambio con las paredes, por actividad del motor y por luces y personas.

Esta etapa será llamada etapa de mantención, pues el fin de la cámara ya no es enfriar el producto, sino mantener la temperatura de la cámara. Entonces para estimar el factor de uso F_u del compresor, se empleará la Ecuación 13 donde $Q_{necesario}$ depende de la temperatura de diseño según la Tabla 57, distinguiendo si se trata de enfriamiento o mantención, y $Q_{compresor}$ que en este caso es 2.800 kcal/hr para el caso de las bodegas grande y mediana y 2.400 kcal/hr en el caso de la bodega pequeña, según especificaciones del compresor (ver Tabla 31).

⁶⁰ En alguna medida los resultados también dependen de la humedad relativa, pero el cálculo de la carga de calor no es muy sensible a los cambios en dicho parámetro, así, por simplicidad, se mantendrá constante la humedad relativa en las tres ciudades., considerando 50% para Santiago y 70% para Antofagasta y Puerto Montt.

Para obtener una aproximación al consumo total es necesario estimar un factor de uso promedio, dado que se asumió que un producto permanece en promedio 3 días dentro de la bodega, uno de los cuales se considera como destinado a enfriamiento y los otros dos son se mantención de la temperatura alcanzada durante la etapa de enfriamiento. Así el factor de uso promedio resulta:

Ecuación 5: Cálculo del factor de utilización para las bodegas refrigeradas

$$Fu_{promedio} = \frac{1}{3} Fu_{enfriamiento} + \frac{2}{3} Fu_{mantencion}$$

Considerando un funcionamiento de 18 horas de trabajo por día (para permitir reparaciones, mantención), y que cada mes tiene 30 días, se estima un *Uso* de 540 horas mensuales. Así el consumo de energía queda como sigue:

Ecuación 6: Consumo de energía de las bodegas refrigeradas

$$Consumo = Q_{compresor} \cdot Uso \cdot Fu_{promedio}$$

Destaca el hecho qué, para las condiciones de operación y las cantidades de productos enfriados, los requerimientos energéticos son muy elevados para ser suministrados con un sistema de energías renovables no convencionales. Por lo tanto, se menciona la posibilidad de no mantener operando estos artefactos el 100% del tiempo.

Luego, considerando los factores de utilización para las distintas ciudades mostrados en el ANEXO 3, Tabla 63, Tabla 65 y Tabla 67, se logra determinar los requerimientos de calor para cada lugar y para cada tamaño de bodega, valores que son mostrados en el ANEXO 3 (Tabla 64, Tabla 66 y Tabla 68).

Con los mencionados valores es posible obtener los consumos eléctricos para cada una de las bodegas, en cada unas de las ciudades consideradas. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 32: Consumo de eléctrico mensual de una bodega refrigerada en Antofagasta, en kWh/mes

	Cámara pequeña 200 kg	Cámara mediana 350 kg	Cámara mediana 500 kg
Enero	579	687	851
Febrero	587	697	866
Marzo	549	646	791
Abril	510	594	716
Mayo	502	584	701
Junio	471	542	641
Julio	495	573	686
Agosto	479	553	656
Septiembre	495	573	686
Octubre	518	604	731
Noviembre	525	615	746
Diciembre	556	656	806

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Consumo de eléctrico mensual de una bodega refrigerada en Santiago, en kWh/mes

	Cámara pequeña 200 kg	Cámara mediana 350 kg	Cámara mediana 500 kg
Enero	704	833	1.030
Febrero	680	802	985
Marzo	634	740	895
Abril	596	688	820
Mayo	549	626	730
Junio	518	585	670
Julio	518	585	670
Agosto	534	605	700
Septiembre	572	657	775
Octubre	603	688	835
Noviembre	634	740	895
Diciembre	673	791	970

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Consumo de eléctrico mensual de una bodega refrigerada en Puerto Montt, en kWh/mes

	Cámara pequeña 200 kg	Cámara mediana 350 kg	Cámara mediana 500 kg
Enero	529	710	710
Febrero	545	740	740
Marzo	498	650	650
Abril	467	590	590
Mayo	436	530	530
Junio	444	545	545
Julio	421	500	500
Agosto	421	500	500
Septiembre	429	515	515
Octubre	452	560	560
Noviembre	483	620	620
Diciembre	514	680	680

Fuente: Elaboración propia

8. GESTIÓN LOCAL PARA LA OPERACIÓN Y ADMINISTRACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS EQUIPOS

Los distintos sistemas considerados en este estudio, para suministrar los consumos energéticos de sistemas de refrigeración, a través de energías renovables no convencionales, necesitan la realización de mantenciones.

Uno de los principales problemas detectados en sistemas suministrados con energías renovables no convencionales, es la sobrecarga de los mismos, situación que produce una reducción en la vida útil de las baterías y afecta la correcta operación del regulador de carga.

Asimismo, se ha detectado que es necesario establecer condiciones de diseño y de organización que impidan la intervención, de los equipos por parte de los usuarios sin la suficiente preparación y capacitación.

Por otro lado, debe considerarse una separación, a la hora de definir la estructura administrativa que estará a cargo de coordinar las labores de mantención y el pago de las mismas. Es distinto administrar sistemas destinados a uso residencial, que para uso productivo.

8.1. Sistemas destinados a actividades productivas

Dentro de los proyectos pensados para el sector productivo debe hacerse la separación entre los sistemas que se entregan a un productor "particular" o a una asociación de productores.

De estar destinado el sistema de refrigeración para una asociación de productores, debe ser esta asociación la que realice el cobro de una cuota mensual, que será destinada a un "fondo de reserva" para el financiamiento de las mantenciones que deban realizarse, sean éstas preventivas o correctivas. Además, debe haber una persona encargada de realizar inspecciones periódicas a las instalaciones atendiendo los requerimientos de mantención mencionados más adelante.

La cantidad recaudada anualmente por el concepto de cuotas para mantención de los equipos debe ser mayor al valor de las mantenciones preventivas, logrando así obtener un remanente que debe ser destinado a las mantenciones correctivas, como por ejemplo, el reemplazo de las baterías y los inversores al final de su vida útil.

Cabe destacar que la entidad recaudadora de los fondos destinados a las mantenciones debe, también, coordinar la realización de éstas, es decir, debe contactar a la empresa que instaló los sistemas para que lleve a cabo las mantenciones necesarias.

En caso de que el sistema esté destinado al suministro de un sistema de refrigeración para sólo una persona, se recomienda una administración similar al caso de sectores residenciales.

8.2. Sistemas destinados a sectores residenciales

En caso de estar destinados los sistemas a satisfacer las necesidades de refrigeración de usuarios residenciales, se recomienda que la administración de éstos sea realizada por un ente centralizado, pero con el apoyo de los usuarios.

En cada hogar poseedor de un sistema de suministro de energía a través de fuentes renovables no convencionales, debe haber un encargado de realizar inspecciones periódicas a las instalaciones para detectar posibles fallas y corregirlas antes de que afecten el correcto funcionamiento de los artefactos.

La organización central debe funcionar como se propone para el caso productivo, es decir, debe realizar el cobro de una cuota mensual destinada a financiar mantenciones preventivas y correctivas, además de gestionar la realización de las mismas.

Se estima conveniente que las instituciones encargadas de las gestiones antes mencionadas sean, o bien, la junta de vecinos correspondiente a la vivienda, o algún organismo estatal como un municipio, la intendencia, etc.

Debe tenerse en consideración que, si el proyecto está destinado a dar acceso a refrigeración a familias de escasos recursos, éstas no serán capaces de financiar las mantenciones en su totalidad, por lo que se plantea la necesidad de aplicar un subsidio a éstas, el cual debe ser gestionado también por la entidad encargada de realizar el cobro de las cuotas y gestionar la realización de las mantenciones.

A continuación se detallan las rutinas de mantención preventiva para los distintos sistemas, además de mencionar las principales fallas y los costes de corrección de las mismas.

8.2.1. Proyectos solares

La afirmación que un sistema fotovoltaico no requiere mantención es solamente cierta para el panel fotovoltaico, que, salvo la limpieza de la superficie para evitar el oscurecimiento por depositación de polvo, no necesita de otros cuidados. Sin embargo, un sistema fotovoltaico no es solo el panel, si no que también están presentes: el banco de baterías, el regulador de carga y el inversor.

Dentro de las recomendaciones dadas en la literatura especializada, con respecto a la mantención preventiva de los sistemas fotovoltaicos, están:

1. **Paneles fotovoltaicos.** Los paneles generalmente no requieren mantenimiento, excepto una limpieza periódica con un paño mojado de la superficie anterior de los módulos. Esta limpieza sirve para devolver la transparencia original al cristal que puede haberse reducido por culpa de capas de polvo.
2. **Conexiones del sistema.** Las conexiones de las baterías deben limpiarse y tratarse periódicamente, con anticorrosivos recomendados por el fabricante. Además, debe hacerse

un reconocimiento en el sistema de cableado. Si este ha estado expuesto al sol o a la corrosión durante algún tiempo, es posible que se puedan formar grietas en su cubierta, provocando pérdidas de energía. Estas grietas deben ser aisladas.

3. **Estado de las cajas de conexiones, interruptores y fusibles.** Se debe corroborar que estén correctamente selladas, incluyendo las del panel, controladores, puntos de interconexiones, etc. Debe verificarse, además, que no exista corrosión o daños causados por el agua o el viento. Si se tienen componentes electrónicos montados dentro de un gabinete, se debe asegurar que tengan buena ventilación. Se debe verificar que el movimiento de los interruptores sea sólido, y que no exista corrosión tanto en los contactos como en los fusibles.
4. **Baterías.** Si la batería de acumulación es del tipo de Plomo-ácido no sellada, debe controlarse el nivel del líquido una vez al año. Además, se debe tomar muestras del voltaje de cada batería cuando éstas estén bajo carga, si el voltaje de alguna difiere más de un 10% del promedio de los voltajes de las demás, esta batería debe ser aislada del resto.
5. **Soporte de los paneles.** Se recomienda la inspección periódica de las piezas de la estructura soportante de los módulos, verificando si existe alguna pieza suelta que pueda causar problemas.

En caso de haber ocurrido un desperfecto en el sistema, se debe realizar una mantención correctiva, la cual consiste, según la falla, en:

1. **Panel fotovoltaico:** No requiere mantenciones mayores, si no que, cada 2 meses limpiarlo con un paño húmedo para remover el polvo de su superficie. La limpieza debe ser realizada, preferentemente, de noche. Por otro lado, si se quiebra vidrio el panel queda automáticamente inutilizable, por lo tanto, debe ser reemplazado por otro
2. **Baterías:** Cumplida su vida útil, las baterías deben ser reemplazadas, dado que no son capaces de recibir ni almacenar carga.
3. **Regulador de carga, Inversor:** Es posible que se queme un fusible. Ante esta situación debe averiguarse el porqué y solucionar el problema antes de reemplazar este fusible por otro del mismo tipo. En el caso eventual de la persistencia de la falla, llevar a técnico especializado. Seguir instrucciones del Manual del fabricante.

8.2.2. Proyectos eólicos

Para los proyectos eólicos también puede darse el mismo problema que en el caso fotovoltaico, que es la sobrecarga del sistema, provocando una disminución en la vida útil de las baterías, y afectando el regulador de carga.

Por otro lado, las rutinas para mantenciones preventivas o correctivas para el caso de los artefactos componentes del sistema eólico distintos a la turbina, es la misma que la descrita para el caso fotovoltaico.

Es importante destacar que, a pesar de los avances tecnológicos de los últimos años que desembocan en el desarrollo de turbinas más robustas, sin embargo, se recomienda que se realice

una visita de personal especializado al menos cada 18 meses para la limpieza de las aspas, revisión de los cables, reemplazo de algunas componentes menores como varistores, capacitores, algún cable que, luego de una inspección visual se aprecie que tiene dañada la aislamiento, entre otros. Como mantenciones correctivas puede mencionarse la ocurrencia de una falla en los rodamientos del alternador. En este caso debe ser removida del mástil la turbina, y llevada a las oficinas del servicio técnico para proceder al cambio de estos rodamientos, y luego de esto la turbina puede ser reinstalada.

Según la empresa Sagrillo Power & Light Co, el costo de las mantenciones debe estimarse, anualmente, en un 1% del costo del sistema eólico. Aunque una turbina nueva puede no requerir mantención durante 5 años, al cabo de este tiempo, puede resultar necesaria una reparación mayor, cuyo costo puede alcanzar el 5% del valor del proyecto, así se considera, por simplicidad que cada año debe gastarse, por el concepto de mantención, el mencionado 1% del valor del proyecto.

8.2.3. Proyectos con biomasa

El funcionamiento de un biodigestor es un proceso natural, por lo que la mantención del sistema es relativamente simple. Consiste, por una parte, en verificar que las condiciones operacionales en el biodigestor estén dentro de los márgenes necesarios, esto es, revisar la temperatura, cantidad de nutriente, cantidad de agua y el pH de la solución principalmente; y por el otro lado, es una revisión típica de artefactos a gas, donde se chequean los artefactos y las conexiones que sirven para el traslado del gas desde el biodigestor hasta el consumo.

A continuación, se hace hincapié en lo referente a los cuidados que deben tomarse en la operación del biodigestor para que las bacterias puedan realizar su trabajo y se obtenga un biogás de calidad adecuada para el funcionamiento de los equipos. Cabe destacar que, la parte de artefactos y cañerías corresponde a la mantención tradicional de instalaciones a gas.

1. **Contenido de agua de la mezcla:** Un contenido insuficiente de agua en la mezcla que alimenta al biodigestor, ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para desarrollarse de buena manera, provocando que la cantidad de biogás producido sea pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, las bacterias pueden digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás será limitada.
Si se usa primordialmente excreta humana y orines, estiércol y desechos de agricultura como alimento para el digestor, entonces la razón de biomasa a agua debe estar entre 1:1 y 1:2. Por consiguiente por cada 100 Kg. de heces y orina se requieren entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere de más agua, en una razón de 1:3 o 1:4. Es esencial proporcionar una buena mezcla en el digestor para promover una biodegradación efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso.
2. **Problemas con la temperatura:** Los climas tropicales son óptimos para el biogás porque las bacterias anaeróbicas se reproducen bien con temperaturas altas. En el caso de climas más frescos, como lo es en gran parte de Chile, se tendrá que instalar un sistema de calefacción durante la temporada más fría. La temperatura de la mezcla en el digestor es un factor importante para la eficiencia del proceso de digestión. La mayoría de las bacterias anaeróbicas funcionan

mejor en el rango de 30 a 35 °C, por lo tanto, ese es el rango de temperatura óptimo para la producción de biogás. La temperatura en el tanque digestor siempre debe estar por encima de los 20 °C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogás y por debajo de 10° C la digestión cesa completamente. En caso de que la temperatura sea menor que 20°C, será necesario calentar el contenido del biodigestor, lo que puede lograrse utilizando un sistema que utilice como combustible el mismo biogás generado.

3. **Periodo de retención inicial:** Períodos de retención de 10 a 25 días para la mezcla en el tanque digestor son usuales para la mayoría de países tropicales. Si las temperaturas ambientales son altas, por ejemplo, en promedio entre 30 y 35° C, puede ser suficiente un período de retención más corto, de 15 días. En climas más fríos, son comunes periodos de retención más largos, de 80 a 90 días. En el caso de desechos de ganado porcino, que son ricos en ácidos volátiles, se necesitan de 10 a 15 días. Los excrementos de bovinos que contienen compuestos de difícil descomposición requieren mínimo de 20 días de digestión. Por otra parte, en un digestor que trabaja a régimen estacionario o discontinuo, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga y la descarga del sistema. En cambio, en un sistema de carga diaria (continuos) el tiempo de retención determina el volumen de carga diaria que será necesario para alimentar el digestor, ya que tiene la siguiente relación:

Ecuación 7: Determinación del volumen del biodigestor en función del tiempo de retención

$$\frac{\text{Vol total del digestor} [m^3]}{\text{Tiempo de retención} [días]} = \text{Vol de carga diaria} [m^3/día]$$

Así se deduce que, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digestor se reduce y por lo tanto, los costos.

4. **Problemas con el pH:** El pH en el tanque del biodigestor debe ser alrededor de siete. Puesto que los procesos anaeróbicos producen ácidos, el problema más frecuente con el pH es la acidez superior a lo óptimo. Si al evaluar el pH interno el resultado es menos de siete, habrá que agregar un poco de cal para neutralizar el ácido. Se debe tener cuidado al incorporar cal a la mezcla, pues grandes cantidades de cal no son solubles en la mezcla y pueden hacer daño a las bacterias. No se debe ingresar más de 500 mg de cal por cada litro de líquido que está en el biodigestor.
5. **Nutrientes y Estacionalidad de los Residuos:** Dependiendo de la estación del año, los animales cambian sus hábitos alimenticios, por consiguiente sus excretas son menores en verano, pues beben más líquido. El cálculo del biodigestor se debe realizar tomando en cuenta el mes con menor cantidad de residuos disponibles. Por otro lado, el nitrógeno es esencial para el crecimiento y la actividad de las bacterias. La materia prima que contiene una baja razón carbono/nitrógeno es digerida fácilmente, pero los residuos agrícolas leñosos tales como el trigo o la cebada, requieren un suministro de nitrógeno para una digestión eficiente. El alto contenido de celulosa de los pastos y residuos agrícolas hace que sean difíciles de digerir. Las heces humanas y orines, y también los desechos de animales son ricos en nitrógeno y nutrientes necesarios para el crecimiento y multiplicación de las bacterias anaeróbicas. Para una producción óptima de biogás, se deben alimentar los diversos tipos de biomasa en proporciones

cuidadosamente balanceadas y mezcladas. Se recomienda que la razón carbono/nitrógeno de los materiales combinados de alimentación sea mantenida menor de 30:1.

6. **Otros problemas:** Otros problemas que pueden ocurrir muchas veces tienen que ver con la adición de químicos no necesarios en el tanque. Por ejemplo, un biodigestor que se usa con las aguas servidas de una casa, puede tener el cloro que se echa al servicio, lo que produce efectos negativos en las bacterias. También puede haber problemas con las bacterias si el ganado que abastece el biodigestor está recién desparasitado, con un alto nivel de antibióticos. Por otro lado, en lo que a los materiales de construcción del biodigestor se refiere, no es recomendable usar metales dentro del tanque o en la tubería que lleva el biogás, porque el metal puede oxidarse, causando cambios químicos no deseados con la mezcla productiva del biodigestor.

Tabla 35: Rangos óptimos de los parámetros de producción de biogás.

Parámetro	Rango óptimo
Temperatura (°C)	30 – 35
pH	6,8 – 7,5
Relación C/N	20 – 30
Tiempo de Retención (días)	20 – 90 ⁶¹
Relación Sólidos/agua	8% continuo 50% estacionario

Fuente: Elaboración propia en base a Tecnología del biogás
Países no tropicales temperaturas en rango óptimo.

8.2.4. Mantenimiento del compresor en una bodega refrigerada

A continuación, en la Tabla 36, se muestra una tabla con rutinas de mantenimiento preventivo recomendadas por el fabricante de compresores Maneurop. Las rutinas de mantenimiento se distinguen unas de otras por su periodicidad. Se muestran de periodicidad diaria, semanal, mensual, trimestral, semestral y anual.

Según la cotización, la cámara cuenta con una garantía de 6 meses en los cuales se realiza mantenciones preventivas, como limpieza, chequeo de la línea de condensación, etc. Después de este periodo FROSTCHILE realiza mantenciones similares a un costo alrededor de \$ 25.000 por cámara (en Santiago, este valor varía según la localidad geográfica). Esta mantención preventiva es realizada cada 3 meses. Con esto, se estima que, trabajando en condiciones de operación para las cuales la cámara fue diseñada, la vida útil de la cámara se estima entre 15 a 20 años.

En lo que respecta a mantenimiento correctivo, la causa de falla más común es el sobrecalentamiento, el cual puede ser provocado por una mala selección del compresor (elevados radios de compresión), falta de enfriamiento, o sobrecalentamiento en la línea de succión.

⁶¹ Los tiempos de retención varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria y estacional

Tabla 36: Tabla de Mantenimiento Preventivo

	Descripción del Servicio	Frecuencia				
		D	M	T	S	A
1	Haga la inspección general del equipo		X			
2	Verifique la instalación eléctrica		X			
3	Mida la tensión y la corriente		X			
4	Verifique la apertura de todas las terminales eléctricas		X			
5	Verifique las obstrucciones del condensador	X				
6	Verifique el funcionamiento de los accesorios			X		
7	Verifique el nivel de aceite del compresor	X				
8	Verifique la existencia de ruido o vibraciones	X				
9	Verifique la limpieza del equipo	X				
10	Mida la presión y la temperatura de alta o baja del compresor		X			
11	Verifique y regule los relay térmicos		X			
12	Realice la limpieza en el condensador		X			
13	Pruebe la acidez y cambie el aceite				X	
14	Revisión general del compresor semi Hermético					X

Fuente: Información entregada por fabricantes

D = diaria, M = mensual, T= trimestral, S = semestral, A = anual.

Los principales signos de una falla por sobrecalentamiento son un cambio en el color en la cabeza del pistón (toma un color de "quemado"), además de un cambio en la viscosidad del aceite, lo que provoca una mala lubricación y con ello un desgaste en los anillos y en el pistón mismo.

Por lo mismo, el principal método de detección de estas fallas se basa en el análisis de muestras de aceite, las que se recomienda examinar cada 2.000 horas de uso. Si bien se puede detectar recalentamiento por el color del aceite, no es posible detectar un desgaste en los tornillos o en el pistón con una inspección visual del mismo. Para ello se realizan análisis miden la cantidad de partículas extrañas⁶² en él. Este análisis puede llegar a costar \$ 30.000.

⁶² Un exceso de partículas de hierro muestra desgaste de los pistones, partículas de bronce muestran desgaste de anillos

9. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS

A la hora de realizar una evaluación económica de los proyectos, es necesario considerar los aspectos económicos, pero, además, las externalidades sociales y ambientales del proyecto. En este último aspecto, es importante destacar que la incorporación de sistemas de refrigeración alimentados con energías renovables no convencionales, en zonas donde no hay acceso a la electricidad provista por los distintos sistemas interconectados del país, contribuye al desarrollo humano en localidades que presentan altos índices de pobreza y bajos índices de desarrollo humano, un número significativo de población indígena, y zonas isleñas donde no será posible acceder a energía transportada mediante extensión de redes.

Según los datos de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica (CASEN) de diciembre de 2000, el 72,7% de los habitantes de las zonas rurales donde no se dispone de energía eléctrica pertenece a los dos quintiles inferiores de la distribución del ingreso rural, y un 49,5% pertenece al 20% de la población más pobre de estas regiones. Por lo tanto, el proyecto, de realizarse, significa una mejora en la calidad de vida de los sectores más vulnerables del país, y contribuye a la equidad social.

Sobre el beneficio en el sector residencial puede mencionarse, el hecho que, al mantener correctamente refrigerados los alimentos, se disminuye el riesgo de problemas a la salud derivados de la ingesta de alimentos en mal estado.

Por otro lado, dado que el proyecto no está exclusivamente orientado a los sectores residenciales, significará la consolidación de pequeñas y medianas actividades productivas, fomentando la creación de nuevos puestos laborales, y por lo tanto, nuevas fuentes de ingresos para las familias de la zona donde se va a instalar el sistema de refrigeración.

Un punto que no se puede olvidar son las externalidades ambientales del proyecto. Es parte del desarrollo sustentable de una nación dar impulso a la masificación del consumo de energías renovables. Si bien el proyecto no tiene carácter de experimental, puede ser utilizado como ejemplo para demostrar que es posible disminuir el consumo de hidrocarburos⁶³ y por consiguiente, la emisión de gases efecto invernadero, GEI.

Por el lado económico, para poder evaluar económicamente los proyectos, se asumen 2 escenarios. En el primero, la implementación de los sistemas de suministro energético a través de ERNC, es en un lugar donde se tiene acceso a la red eléctrica, siendo el precio de la energía eléctrica en distribución en baja tensión (BT1), de \$153,551 por kWh, lo que corresponde a la comuna de Curarrehue, en la IX Región de la Araucanía⁶⁴.

⁶³ Entendiendo que, de no generar la electricidad necesaria para el funcionamiento de sistemas de refrigeración con ERNC, deberá generarse con diesel.

⁶⁴ Valores vigentes desde el primero de noviembre de 2008

En el segundo escenario, se asume que en el sector donde se instalarán los proyectos no se vislumbra una pronta conexión a la red eléctrica, por lo tanto, la operación alternativa corresponderá a un generador diesel.

Cabe destacar que en ambos casos, como ingresos para el proyecto se considerarán los montos que se dejan de cancelar dada la operación del sistema de ERNC.

Se trabaja bajo los siguientes supuestos:

- Para el costo de los combustibles, se trabaja sobre 2 escenarios. En el primero el precio del kWh y del "arriendo y conservación de equipos", se incrementa un 5% anual y en el segundo, un 9% anual. Este valor corresponde a "ingresos"
- No se considera el gasto por transporte del combustible hacia el consumo
- Para el costo de la energía eléctrica se consideran 2 escenarios, el primero con un aumento en la tarifa eléctrica de 5% anual y el segundo con un 10% anual. Este valor corresponde a "ingresos"
- Para el sistema de ERNC, el costo por mantención corresponde al 10% del valor del proyecto, de energización, esto es, eliminando el costo de la máquina frigorífica y se mantiene constante a lo largo del desarrollo del proyecto.
- Las baterías tienen una vida útil de 5 años y su reposición es considerada como un gasto para el caso de los sistemas RNC y como ingreso en el caso de una localidad sin acceso a la red eléctrica
- Los inversores tienen una vida útil de 10 años y su reposición es considerada como un gasto para el caso de los sistemas RNC y como ingreso en el caso de una localidad sin acceso a la red eléctrica
- Se considera un costo de mantención de los motores diesel de \$150.000, lo que incluye traslado de ser este necesario. Este valor corresponde a "ingresos"
- Se considera un costo de mantención para los sistemas RNC de un 10% del costo del proyecto (excluyendo el costo del refrigerador o máquina frigorífica)
- Para el caso del suministro de la red eléctrica se considera un costo de mantención de \$10.000 anuales. Este valor corresponde a "ingresos"

9.1. Análisis económico de un sistema fotovoltaico para un refrigerador doméstico convencional (250 litros)

Como se mencionó en 7.1, el costo de un sistema fotovoltaico para el suministro de la energía necesaria para el funcionamiento continuo de un refrigerador convencional de 250 litros, varía según las componentes del sistema. En el mencionado capítulo se mostraron 4 alternativas diferentes de suministro, siendo 2 de ellas con energía solar fotovoltaica y las restantes 2 con energía eólica. A continuación se procede a evaluar cada una de ellas, comparándolas con la alternativa de alimentar las cargas con un generador diesel o bien, a través de la red eléctrica.

9.1.1. Sistemas fotovoltaicos, alternativa 1

Esta alternativa contempla el uso de 2 paneles de 130 Wp cada uno, además de 6 baterías de 100 Ah. La inversión inicial en este caso es de \$3.150.990, el que puede variar según las dificultades de acceso de la zona donde se instalará el sistema.

Con los supuestos enunciados, los valores obtenidos, al comparar con un generador diesel y con un suministro de la red eléctrica, son los siguientes:

Tabla 37: Evaluación económica para un sistema fotovoltaico, alternativa 1

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 3.455.714	\$ 7.254.333	-\$ 11.544.984	-\$ 10.393.097
5%	\$ 1.382.477	\$ 3.130.605	-\$ 7.754.623	-\$ 7.220.073
10%	\$ 428.793	\$ 1.300.765	-\$ 5.834.670	-\$ 5.565.046
15%	-\$ 43.009	\$ 426.669	-\$ 4.748.188	-\$ 4.600.895
20%	-\$ 290.962	-\$ 19.177	-\$ 4.069.826	-\$ 3.983.140
TIR	14%	20%	-	-

Fuente: Elaboración propia

9.1.2. Sistemas fotovoltaicos, alternativa 2

Esta alternativa contempla el uso de 3 paneles de 85 Wp cada uno, además de 2 baterías de 265 Ah. La inversión inicial en este caso es de \$3.058.990, y como en el caso anterior, la inversión inicial puede variar según las dificultades de acceso de la zona donde se instalará el sistema.

Con los supuestos enunciados, los valores obtenidos, al comparar con un generador diesel son los siguientes:

Tabla 38: Evaluación económica para un sistema fotovoltaico, alternativa 2

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 11.238.399	\$ 21.232.562	-\$ 10.980.984	-\$ 9.829.097
5%	\$ 5.694.244	\$ 10.332.185	-\$ 7.403.159	-\$ 6.868.609
10%	\$ 3.078.737	\$ 5.418.079	-\$ 5.588.553	-\$ 5.318.929
15%	\$ 1.735.794	\$ 3.013.753	-\$ 4.559.990	-\$ 4.412.698
20%	\$ 991.204	\$ 1.743.324	-\$ 3.916.564	-\$ 3.829.877
TIR	38%	45%	-	-

Fuente: Elaboración propia

9.1.3. Sistemas eólicos

Las dos alternativas eólicas consideradas corresponden a una turbina de 400W/12V y difieren en las baterías consideradas. Mientras que en el primer caso se consideraron 6 baterías de 100 Ah cada una, en la segunda se consideraron 2 de 265 Ah.

Tabla 39: Evaluación económica para un refrigerador convencional suministrado con un sistema eólico, Alternativa 1

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 12.297.399	\$ 22.291.562	-\$ 9.921.984	-\$ 8.770.097
5%	\$ 6.500.118	\$ 11.138.059	-\$ 6.597.285	-\$ 6.062.734
10%	\$ 3.743.150	\$ 6.082.492	-\$ 4.924.139	-\$ 4.654.516
15%	\$ 2.312.491	\$ 3.590.451	-\$ 3.983.292	-\$ 3.836.000
20%	\$ 1.508.312	\$ 2.260.431	-\$ 3.399.456	-\$ 3.312.770
TIR	68%	76%	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Evaluación económica para un refrigerador convencional suministrado con un sistema eólico, Alternativa 2

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 5.732.714	\$ 9.531.333	-\$ 9.267.984	-\$ 8.116.097
5%	\$ 2.955.457	\$ 4.703.585	-\$ 6.181.643	-\$ 5.647.092
10%	\$ 1.635.932	\$ 2.507.904	-\$ 4.627.530	-\$ 4.357.907
15%	\$ 952.499	\$ 1.422.178	-\$ 3.752.679	-\$ 3.605.386
20%	\$ 569.845	\$ 841.630	-\$ 3.209.020	-\$ 3.122.333
TIR	43%	47%	-	-

Fuente: Elaboración propia

9.2. Análisis económico de un sistema doméstico para un frigobar (130 litros)

En la Tabla 41 y en la Tabla 42 es posible apreciar los resultados de comparar el suministro de un frigobar a través de paneles fotovoltaicos, un generador diesel y la red eléctrica.

Destaca el hecho que, independiente de la tasa de incremento del costo de la energía eléctrica, el proyecto no resulta ser rentable. Sin embargo, cabe destacar que el proyecto está enfocado a localidades aisladas de la red, y, por lo tanto, no se vislumbra en el corto plazo la conexión a la red.

Tabla 41: Evaluación económica para un frigobar, alternativa 1

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 10.020.714	\$ 14.134.341	-\$ 5.903.628	-\$ 5.504.167
5%	\$ 5.723.678	\$ 7.632.668	-\$ 3.920.150	-\$ 3.734.774
10%	\$ 3.643.117	\$ 4.605.997	-\$ 2.927.920	-\$ 2.834.417
15%	\$ 2.535.890	\$ 3.061.902	-\$ 2.372.809	-\$ 2.321.730
20%	\$ 1.893.690	\$ 2.203.264	-\$ 2.029.620	-\$ 1.999.558

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Evaluación económica para un frigobar, alternativa 2

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 9.681.714	\$ 13.480.333	-\$ 6.242.628	-\$ 5.801.175
5%	\$ 5.478.675	\$ 7.226.803	-\$ 4.165.153	-\$ 3.958.333
10%	\$ 3.446.588	\$ 4.318.561	-\$ 3.124.448	-\$ 3.018.827
15%	\$ 2.367.548	\$ 2.837.226	-\$ 2.541.152	-\$ 2.482.563
20%	\$ 1.743.579	\$ 2.015.364	-\$ 2.179.730	-\$ 2.144.631

Fuente: Elaboración propia

9.3. Análisis económico de un sistema doméstico en corriente continua, alimentado por paneles fotovoltaicos

En la Tabla 43 es posible apreciar la evaluación económica de la solución en corriente continua. Es importante destacar acá que, para hacer funcionar esta máquina con la red eléctrica, es necesario agregar al sistema, un inversor que sea capaz de transformar de 220 V_{AC} a 12 V_{DC}. Este artefacto tiene una vida útil de 10 años y una eficiencia del 90%. Así, los costos de inversión cuando se considera la alimentación de la red eléctrica son: \$1.1150.000 por el refrigerador en continua y \$466.553 por el cargador de baterías (Xantrex Truecharge 40i).

Tabla 43: Evaluación económica para un refrigerador doméstico en CC

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 5.117.864	\$ 6.413.739	-\$ 5.502.744	-\$ 5.152.247
5%	\$ 2.612.907	\$ 3.214.277	-\$ 4.077.739	-\$ 3.915.085
10%	\$ 1.406.886	\$ 1.710.212	-\$ 3.323.337	-\$ 3.241.296
15%	\$ 773.289	\$ 938.993	-\$ 2.873.463	-\$ 2.828.645
20%	\$ 414.052	\$ 511.574	-\$ 2.575.950	-\$ 2.549.573
TIR	33%	35%	-	-

Fuente: Elaboración propia

9.4. Análisis económico de un sistema a biogás para un refrigerador doméstico a gas (215 litros)

Como se mencionó en 6.4, existen pocas alternativas de refrigeradores alimentados con gas en el mercado nacional, por lo que se realizará el análisis económico de la solución, comparando como fuente de energía el biogás generado desde un biodigestor versus el utilizar gas licuado.

Los supuestos utilizados en los cálculos fueron:

- El valor del kg de GLP se estimó a partir del promedio nacional del costo de un balón de 45 kg de GLP en Chile al mes de Junio de 2008 según la información publicada por la CNE, correspondiente a \$45.028.
- Se analizan 2 escenarios, el primero con un alza en los precios del kg de GLP de un 5% anual, y el segundo con un alza del 10% anual
- El costo de mantención del sistema a GLP se estimó en \$10.000 anuales y cada 5 años una mantención mayor con un costo de \$150.000.
- El costo de instalación del sistema biodigestor se estimó en \$1.500.000 correspondiente principalmente a materiales y revisiones iniciales del sistema.
- El costo de mantención del Biodigestor se estimó en \$200.000 pesos anuales, correspondientes a la visita de un técnico a revisar el estado del biodigestor y del sistema de cañerías.

Para el refrigerador marca Consul de 215 Litros, con un consumo de 960 gramos de GLP al día, lo que equivale a 1,85 m³ de biogás al día, la evaluación económica entrega los siguientes resultados:

Tabla 44: Evaluación económica refrigerador a biogas

Tasa [%]	VPN con tasa crecimiento precio GLP de 5%	VPN con tasa crecimiento precio GLP de 10%
0%	\$ 6.943.206	\$ 16.859.822
5%	\$ 2.828.856	\$ 7.430.810
10%	\$ 951.558	\$ 3.272.749
15%	\$ 30.751	\$ 1.298.794
20%	-\$ 449.277	\$ 297.006
TIR	15%	22%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que en todos los escenarios, excepto en el caso con una tasa de crecimiento del precio del GLP de 5% y tasa de retorno del 20%, el proyecto resulta ser rentable económicamente frente al uso de gas licuado, lo que lo convierte en una alternativa viable, desde el punto de vista del VAN.

A continuación, a modo de resumen, se presenta la Tabla 45. En ella se presentan los costos de inversión de los sistemas convencionales y el costo de operación de la alternativa de funcionar con un generador diesel, excepto para el caso del refrigerador a gas, donde el costo de operación corresponde al funcionamiento con gas licuado de petróleo. Cabe destacar que, todos los costos de operación mostrados, corresponden al año 0.

Tabla 45: Resumen de costos para equipos residenciales

	Costos		TIR ⁶⁵
	Inversión [\$]	Operación alternativa [\$/año]	
Refrigerador convencional			
Solar, Alternativa 1	3.150.990	353.360	35%
Solar, Alternativa 2	3.058.990		38%
Eólico, Alternativa 1	2.609.990		68%
Eólico, Alternativa 2	2.487.990		86%
Frigobar			
Alternativa 1	1.579.990	145.444	-
Alternativa 2	1.712.990		-
Refrigerador a gas	1.989.990	350.618	15%
Refrigerador en CC	2.421.000	45.818	33%

Fuente: Elaboración propia

⁶⁵ La tasa interna de retorno mostrada corresponde al caso de que los ingresos considerados corresponden a la operación de un generador diesel con un crecimiento en el precio del combustible del 5%, excepto para el caso del biodigestor, donde se consideran como ingresos la operación alternativa con GLP, cuyo precio crece a una tasa del 5% anual

Cabe destacar que, para el caso de análisis de un frigobar no se obtuvo valores válidos de la Tasa interna de retorno, ya sea porque el problema no tenía solución, como resultó el caso eléctrico, o bien porque la diferencia entre las inversiones en el año 0 era positiva.

Otro punto importante a mencionar es que las alternativas solares y eólicas no son directamente comparables dado que los supuestos no necesariamente corresponden a la misma localidad. Para el caso fotovoltaico se consideró la localidad de Quillayal como locación para el proyecto, mientras que para el caso eólico, una localidad cuya velocidad promedio anual de viento es de 5,1 m/s.

9.5. Análisis económico de sistemas comerciales

Para el caso de fabricación de hielo se consideran 2 alternativas. La primera considera la producción de hielo en escamas, mientras que la segunda considera la utilización de una máquina frigorífica que funciona en corriente continua la cual se encargará de congelar agua, transformándola en cubos de hielo para su posterior utilización como mecanismo para mantener “fresco enfriado” el pescado.

9.5.1. Análisis económico de una máquina productora de hielo en escamas

Para realizar la evaluación económica de la máquina productora de hielo en escamas se considera asegurado el suministro de agua con la pureza necesaria para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina. Además, no se considerará el costo del agua e la hora de realizar la evaluación.

Cabe destacar que, en este caso, el consumo de agua es importante, dado que se consumen 1,2 litros por cada 1 kilo producido, agua que debe ser con elevados niveles de pureza para no afectar el correcto funcionamiento de la máquina.

Por otro lado, dado que las mantenciones, a pesar de lo costoso del sistema, no son mucho más dificultosas que para el caso de sistemas más pequeños, en este caso se estiman en \$500.000 anuales, y no en un 10% del valor del proyecto de suministro energético.

Tabla 46: Análisis económico fabrica de hielo en escamas

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 525.199	\$ 10.528.984	-\$ 28.981.496	-\$ 22.219.178
5%	-\$ 3.022.326	\$ 1.620.080	-\$ 21.332.174	-\$ 18.194.018
10%	-\$ 4.508.606	-\$ 2.167.012	-\$ 17.416.013	-\$ 15.833.151
15%	-\$ 5.126.170	-\$ 3.846.980	-\$ 15.129.783	-\$ 14.265.081
20%	-\$ 5.353.642	-\$ 4.600.798	-\$ 13.635.232	-\$ 13.126.328
TIR	1%	7%	-	-

Fuente: Elaboración propia

9.5.2. Análisis económico de un frigorífico en CC para la fabricación de hielo

Para comparar la máquina en continua para la fabricación de hielo, al igual que en el caso del refrigerador convencional doméstico, debe considerarse la adición, cuando se suministra a través de la red eléctrica, de un inversor que pase de 220 V_{AC} a 12 V_{DC}. Se considera, al igual que el caso residencial, el cargador de baterías Xantrex Truecharge 40i, que tiene un costo de \$466.553, que junto con el \$1.150.000 de costo del congelador, consiste en los costos de inversión para el caso mencionado.

Tabla 47: Evaluación económica de un sistema en CC de fabricación de hielo

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 4.341.372	\$ 6.076.829	-\$ 8.831.129	-\$ 8.831.129
5%	\$ 1.826.328	\$ 2.575.761	-\$ 6.293.220	-\$ 6.293.220
10%	\$ 649.706	\$ 990.671	-\$ 4.972.429	-\$ 4.972.429
15%	\$ 54.772	\$ 217.947	-\$ 4.201.027	-\$ 4.201.027
20%	-\$ 266.117	-\$ 183.872	-\$ 3.702.663	-\$ 3.702.663
TIR	16%	17%	-	-

Fuente: Elaboración propia

9.5.3. Análisis económico para una bodega refrigerada

Como es posible observar en la Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34, los requerimientos energéticos son muy elevados para los sistemas desarrollados en el presente informe, por lo tanto, se considera la utilización de una turbina Whisper 500, capaz de producir 538 kWh/mes, para una velocidad del viento promedio de 5,4 m/s.

Con esta turbina, y para las velocidades de viento para las ciudades de Antofagasta y Puerto Montt, mostradas en la Tabla 56 (ANEXO 1) se evalúa, mes a mes, la cantidad de energía producida por el sistema eólico y el equivalente en litros de gasolina (93 o 97 octanos sin plomo) para generar la misma cantidad de energía eléctrica que es capaz de entregar la turbina.

El sistema considerado para el suministro necesita asegurar 3 días de funcionamiento, que es el tiempo que se supone permanecerán los productos en la cámara. El costo de inversión inicial completo se muestra en la Tabla 49 y es considerado, por simplicidad, el mismo para los 2 casos, dado que solo difieren en la utilización de 2 baterías⁶⁶. La diferencia entre ambos es que el proceso de carga de las baterías será más lento en el caso de Puerto Montt.

⁶⁶ En Antofagasta se necesitan 2 baterías más que en Puerto Montt

Tabla 48: Energía producida por una turbina Whisper 500 en Antofagasta y Puerto Montt y la requerida para el funcionamiento continuo de las bodegas refrigeradas

	Antofagasta			Puerto Montt		
	Requerimiento	Producción ⁶⁷		Requerimiento	Producción ⁶⁷	
	kWh/mes	kWh/mes	lt/mes	kWh/mes	kWh/mes	Litros/mes
Enero	579	480,1	370,5	529	64,5	83,5
Febrero	587	480,1	370,5	545	52,7	68,3
Marzo	549	370,4	285,8	498	46,9	60,8
Abril	510	370,4	285,8	467	52,7	68,3
Mayo	502	278,9	215,2	436	105,5	136,7
Junio	471	278,9	215,2	444	128,9	167,1
Julio	495	370,4	285,8	421	128,9	167,1
Agosto	479	370,4	285,8	421	117,2	151,9
Septiembre	495	480,1	370,5	429	105,5	136,7
Octubre	518	480,1	370,5	452	70,3	91,1
Noviembre	525	480,1	370,5	483	70,3	91,1
Diciembre	556	480,1	370,5	514	70,3	91,1
Total	6.266	4.920,1	3.796,4	5.639	1.013,7	1.313,7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Costos de la bodega refrigerada suministrada por una turbina eólica

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Bodega Refrigerada con capacidad de 200 kg ⁶⁸	\$ 3.820.000	\$ 3.820.000
1	Turbina Whisper 500 ⁶⁹	US\$7.495	\$ 4.729.345
23	Batería Deka S8D SLD G LTP	\$ 345.000	\$ 7.935.000
1	Inversor Quattro 5KVA	USD\$ 4.390(*)	\$ 2.771.539
-	Instalación y otros de sistema eólico ⁷⁰	\$ 4.700.000	\$ 4.700.000
	Total (*)		\$ 23.955.884

Fuente: Cotizaciones de FrostChile, SolarDyne y Solener

(*) Precios no incluyen IVA

Luego, considerando los mismos supuestos que en los casos anteriores, además de que el costo de mantención para el caso eólico es de \$500.000 y para el caso del generador diesel es de \$300.000, se tienen los siguientes resultados, como evaluación económica.

⁶⁷ Es necesario mencionar que en “Producción” se ha considerado la eficiencia del equipo, o sea, entrega la energía útil disponible para alimentar la máquina frigorífica de la bodega. La eficiencia considerada es de un 81%, pero los litros de gasolina necesarios están calculados sobre la energía neta, dado que se considera que las pérdidas en el sistema alimentado con un generador serán las mismas que en el sistema eólico.

⁶⁸ Incluye materiales y montaje de la cámara con radier

⁶⁹ Turbina cotizada online en <http://www.soldardyne.com>, que corresponde a un distribuidor estadounidense. No considera costos de envío ni impuestos por internación, considerando el dólar a \$631.

⁷⁰ “Instalación y otros” considera todo lo necesario para dejar el sistema operativo, es decir, considera hasta el mástil para la turbina

Tabla 50: Evaluación económica de una bodega refrigerada, caso Antofagasta

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 79.283.287	\$ 156.842.015	-\$ 44.444.757	-\$ 22.780.393
5%	\$ 38.502.381	\$ 74.494.670	-\$ 33.700.013	-\$ 23.646.341
10%	\$ 19.315.973	\$ 37.470.209	-\$ 28.119.939	-\$ 23.048.943
15%	\$ 9.521.007	\$ 19.438.485	-\$ 24.786.942	-\$ 22.016.708
20%	\$ 4.140.619	\$ 9.977.368	-\$ 22.552.978	-\$ 20.922.608
TIR	27%	34%	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Evaluación económica de una bodega refrigerada, caso Puerto Montt

Tasa [%]	VPN contra generador diesel		VPN contra instalación eléctrica	
	Aumento 5%	Aumento 10%	Aumento 5%	Aumento 10%
0%	\$ 9.560.974	\$ 30.322.008	-\$ 66.638.409	-\$ 63.053.599
5%	\$ 251.440	\$ 9.885.909	-\$ 45.875.858	-\$ 44.212.273
10%	-\$ 3.901.606	\$ 957.947	-\$ 35.510.440	-\$ 34.671.341
15%	-\$ 5.841.998	-\$ 3.187.272	-\$ 29.677.216	-\$ 29.218.824
20%	-\$ 6.762.996	-\$ 5.200.606	-\$ 26.023.762	-\$ 25.753.984
TIR	5%	11%	-	-

Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar la gran diferencia entre el ciclo de vida de la misma bodega en las ciudades de Puerto Montt y Antofagasta. Aunque los requerimientos energéticos en Puerto Montt son menores, la velocidad del viento es más alta en Antofagasta, por lo tanto, la cantidad de energía generada en la segunda ciudad es mayor, y por lo tanto, la cantidad de fruta que es posible enfriar en Antofagasta es mayor⁷¹, como se muestra en la Tabla 52.

⁷¹ Se considera que cada 3 días se enfrían 200 kg de fruta.

Tabla 52: Kilos de fruta enfiados por el sistema eólico en bodegas refrigeradas chicas en Antofagasta y Puerto Montt

	Antofagasta	Puerto Montt
Enero	1.714	252
Febrero	1.527	181
Marzo	1.394	195
Abril	1.453	226
Mayo	1.148	500
Junio	1.184	581
Julio	1.546	633
Agosto	1.598	575
Septiembre	1.940	492
Octubre	1.915	321
Noviembre	1.829	291
Diciembre	1.785	283
Total	19.033	4.529

Fuente: Elaboración propia

Este ejemplo sirve para demostrar la importancia de las condiciones climáticas en el lugar donde se va a instalar el sistema. Además, hace notorio el hecho de que es necesario tener una buena información antes de instalar el sistema, ya que, de no tener condiciones adecuadas para su operación, el sistema no cumplirá con los requerimientos de diseño, lo cual irá en desmedro de los usuarios y de la percepción de la comunidad respecto a los sistemas suministrados con energías renovables.

A modo de resumen se presenta la Tabla 53, donde es posible observar los costos de inversión y de operación alternativa con un generador diesel para todos los sistemas considerados, es decir, para las 2 máquinas de fabricación de hielo y para la bodega refrigerada, es pacíficamente en el caso de Antofagasta.

Tabla 53: Resumen costos sistemas para suministro de actividades productivas

	Costos		TIR ⁷²
	Inversión [\$]	Operación alternativa [\$/año]	
Producción de hielo			
Productora de hielo en escamas	13.659.539	353.700	1%
Máquina en CC para producir hielo	3.258.000	93.715	16%
Bodega refrigerada			
Bodega de 200 kg en Antofagasta	24.755.884	2.742.214	26%
Bodega de 200 kg en Puerto Montt		734.040	5%

Fuente: Elaboración propia

⁷² La tasa interna de retorno mostrada corresponde al caso de que los ingresos considerados corresponden a la operación de un generador diesel con un crecimiento en el precio del combustible del 5%

Para el caso de la máquina productora de hielo en escamas y la máquina en CC para la fabricación de hielo no se puede hacer una comparación directa, dado que una suministra el consumo a través de una turbina, mientras que la otra a través de paneles fotovoltaicos.

Por otro lado, como se mencionó ya, para el caso de la fábrica de hielo en escamas, existen requerimientos adicionales de agua de una pureza adecuada para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina los cuales no fueron cuantificados económicamente.

Para el caso de las bodegas en Antofagasta y Puerto Montt se muestra el hecho que los diseños elegidos deben atender las particularidades climáticas del lugar donde se va a instalar el proyecto. En ambos casos se consideraron los mismos sistemas, pero no se obtuvieron los mismos resultados, ni en indicadores económicos (la TIR del proyecto en Antofagasta es mayor que la del proyecto en Puerto Montt) ni en cantidad de fruta enfriada.

10. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En el presente trabajo se detalló, para sistemas de refrigeración, tanto residenciales como para pequeños productores, una serie de alternativas de suministro a través de energías renovables no convencionales, de las cuales se presentó una serie de experiencias exitosas a nivel internacional para tener una idea del estado del arte a nivel internacional.

Por otro lado, se dieron las bases de una metodología de dimensionamiento de proyectos, herramienta que tiene la finalidad de asesorar a quien piense evaluar un sistema de suministro a través de energías renovables no convencionales, en una localidad determinada.

Como se mencionó anteriormente, este estudio aborda por separado el sector residencial y el sector productivo. Para el sector residencial, se presentaron una serie de alternativas, de variados costos, tamaños y tecnologías, las cuales, para su mejor comprensión, se tratan a través de ejemplos, lo cual permitió realizar comparaciones entre una y otra alternativa considerando su ciclo de vida.

Es importante recalcar que las condiciones de diseño y el comportamiento del sistema a lo largo de su ciclo de vida, depende de una serie de factores, como son: condiciones ambientales en la zona de instalación, condiciones de operación, realización de las mantenciones, etc. Con respecto a las condiciones de operación, es importante destacar que los sistemas de suministro están pensados para satisfacer el consumo de las máquinas frigoríficas y no los consumos totales de las viviendas, por lo tanto, no se asegura un comportamiento adecuado de utilizarlos para el abastecimiento de todos los consumos residenciales.

Para el sector productivo, en particular, se abordó el caso de la producción de hielo para la conservación en buenas condiciones, de pescado (fresco enfriado). Para esto se tratan 2 sistemas con requerimientos, y costos, muy diferentes, como son, una máquina productora de hielo en escamas y un freezer que funciona con corriente continua.

Además, se consideró el diseño y utilización de bodegas refrigeradas. Para evaluar el comportamiento de éstas se consideraron 3 tamaños diferentes (200 kg, 350 kg y 500 kg), además de las condiciones climáticas de 3 ciudades distintas (Antofagasta, Santiago y Puerto Montt), ubicadas en distintas zonas geográficas del país.

Sin embargo, dados los grandes requerimientos energéticos de los sistemas considerados para el suministro de los sistemas productivos se impuso ciertas condiciones de operación, esto es, no se consideró (excepto para el caso de la máquina en corriente continua para la fabricación de hielo) el funcionamiento continuo, si no que se evaluó la cantidad de energía obtenida y la cantidad de días de frío o kilos de hielo que era capaz de entregar el sistema.

Es importante destacar el hecho que los proyectos resultan rentables al compararlos con el funcionamiento mediante el suministro por un generador a gasolina, para el caso en que el costo de los combustibles crecen un 5% o un 10%. Por otro lado, al compararlo con el suministro por la red eléctrica no resultan rentables, pero, se debe recalcar el hecho que este proyecto tiene como finalidad

evaluar el suministro en localidades aisladas de la red, para las cuales no se vislumbra en el corto plazo una conexión, además, se debe tener en consideración la mejora en la calidad de vida de las personas, y en las oportunidades para la economía de estos lugares que conlleva la habilitación de sistemas de refrigeración.

11. BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.chile-potenciaalimentaria.cl/>
- Proyecto Eolo, Evaluación del potencial eólico nacional; Universidad de Chile, Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, 1993
- <http://pdf.archiexpo.com/pdf/tab/ice-flaker.html>
- <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producefacts/espanol/ProduceFacts-espanol.shtml>
- Conservación de Alimentos Mediante Frío. I Refrigeración; Osorio F., Guarda A., Castro E., Biblioteca Digital, Universidad de Chile
- <http://www.eco-fridge.com/dcfridge.html>
- Natural Resources Canada; <http://www.retscreen.net/>
- http://www.sundanzer.com/Prod_Info_files/residential_system_sizing.pdf
- Manual de reciclaje orgánico y biogás, Aprovechamiento Racional De Residuos Agropecuarios, María Teresa Varnero M., Laboratorio de reciclaje orgánico, Facultad Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago – Chile, 1992
- Presentación: "Digestión anaeróbica y producción de biogás: un recurso renovable"; Jean-François Bradfer, Ingeniero Procesos Industriales, Gerente General – AS&D Consultores, Congreso Aguas&Ambiente – Chile 25 al 28 de Mayo 2005 – Santiago
- Diseño e Ingeniería de detalle de un sistema productivo con utilización de energía solar; Trabajo de título, Serrano, M.; Santiago, 2005
- Solar Engineering of thermal processes; Duffie, J., Beckman, W. Segunda Edición, 1991.
- Energía Renovable para Centros de Salud Rurales; Antonio C. Jimenez, Ken Olson, Septiembre 1998
- Fotovoltaicos para la Salud: Una propuesta Integrada, Dierolf, Carlos F., Celis Geovann
- Instalaciones fotovoltaicas en pueblos rurales, Lecciones, investigaciones y experiencias en Huamanzana, La Libertad, Perú, Shannon M. Brink y Jesús Mendoza Ramos con Rebecca Legett
- Sistemas aislados de Aerogeneración de Electricidad en Escuelas Rurales de Magallanes, Raúl Gallardo; Arturo Kunstmann; Serafín Ruiz; Luis Toledo
- Instalación de sistemas de autogeneración eléctrica IV Región de Coquimbo, con sistemas individuales de equipos fotovoltaicos, López, S., CONAFE.
- Caso de estudio Sistemas eólicos para bombeo de agua en México, Oaxaca; Ecoturismo y Nuevas Tecnologías S.A. de C.V.
- <http://www.analitica.com/vam/1999.03/ciencia/Default.htm>
- <http://www.ruralcostarica.com/biogas-spanish.html>
- Manual de reciclaje orgánico y biogás: aprovechamiento racional de residuos agropecuarios, 1992, María Teresa Varnero M., Facultad Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile
- Determinación del potencial de energía renovable a partir del Biogás de la Granja Integral Porcina Soroa Candelaria
- <http://www.monografias.com/trabajos61/energia-renovable-biogas/energia-renovable-biogas.shtml>
- http://www.energytraining4europe.org/spanish/training/guide_res/biofuels_05.htm

- Tecnología del biogás, Juan Pablo Silva Vinasco, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia
- Wind – Electric ice making investigation; Holz, R; Drouilhet, S, Gevorgian, V; National Renewable Energy Laboratory: Mayo de 1998
- Sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad: una guía para consumidores en los EE.UU, Departamento de Energía, septiembre de 2007
- Reynolds, K.; Markus, F., Cole Smith S.; St. Antoine A. "El Hidrógeno, Las Celdas De Combustible, Y La Realidad". Publicado en Motortrend en Español, Agosto 2004. http://www.motortrendenespanol.com/articulos/consumidor/e12_0408_hidrogeno
- Nanopedia – A web course about Nanotechnology de Case Western Reserve University. Sitio Web: <http://nanopedia.case.edu/NWPPage.php?page=news1.8>
- Beacon Power Corporation. Sitio Web: <http://www.beaconpower.com>
- Nice, K.; Strickland, J. "How Fuel Cells Work". Publicado en: How Stuff Work? – a Discovery Company. Diciembre 2000. <http://auto.howstuffworks.com/fuel-cell.htm>
- LaMonica, M. "One megawatt of grid storage, 10 big flywheels". Publicado en: Cnet News. Junio 2008. http://news.cnet.com/8301-11128_3-9968539-54.html
- Buchmann, I. "The Fuel Cell: is it ready?". Publicado en: Batteries in a Portable World - Cadex Electronics Inc. 2001. <http://www.buchmann.ca/Article1-Page1.asp>
- Flywheel Energy Systems Inc. Sitio Web: <http://www.magma.ca/~fesi/>
- Schatz Energy Research Center. Sitio Web: <http://www.schatzlab.org/index.html>
- Fuel Cell Store. Sitio Web: <http://www.fuelcellstore.com>

ANEXO 1: INFORMACIÓN CLIMATICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS O PARA SISTEMAS EÓLICOS

Todas las tablas corresponden a información de la base de datos del programa RETScreen, de Ressources Naturelles Canadá.

Tabla 54: Temperatura del aire, en °C

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Región de Arica y Parinacota	Arica/Chacalluta	22	22,3	21,4	19,5	17,6	16,4	15,6	15,7	16,3	17,5	19,1	20,6
Región de Tarapacá	Iquique/Diego Arac	21,1	21,1	20,1	18,3	16,9	15,9	15,2	15,3	15,9	16,9	18,4	20
Región de Antofagasta	Antofagasta/cerro	20	19,9	18,7	16,8	15,2	14	13,4	13,7	14,3	15,5	16,9	18,7
	Calama	12,6	12,2	11,8	9,6	6,5	4,8	4,3	5,8	7	9,3	10,7	12
	Tocopilla	19,4	20,1	19,7	18,6	17,3	16,2	15,5	15,9	16,1	16,8	17,2	18,4
	Tal Tal	17,5	18	17,7	16,5	15	14	13,2	13,7	14	15,1	15,8	16,8
Región de Atacama	Copiapó	19,6	19,4	17,9	15,4	13,2	11,4	11,3	12	13,2	14,8	16,4	18,3
	Vallenar	18,6	18,6	17,1	14,9	13,1	11,7	11,4	12,2	13	14,5	15,6	17,5
	Chañaral	21,1	21,1	19,4	17,8	16,1	14,4	13,9	14,4	15	16,1	17,8	19,4
Región de Coquimbo	La Serena/La Florida	17,1	16,9	15,6	13,7	12,3	10,9	10,7	10,9	11,6	12,9	14,3	16,1
	Ovalle	20,5	20,6	19,9	17,4	14,8	13,2	12,2	13,2	14,4	16,4	18	19,7
	Monte Patria	16,9	16,3	14,9	11,2	7,5	5,4	4	5,6	7,8	11	13,5	16
	Salamanca	16,9	16,4	14,9	10,9	7,3	5	3,7	5,1	7,3	10,6	13,3	15,9
	Illapel	20,3	20,6	19,7	16,7	14	12,2	11,2	12,2	13,4	15,6	17,3	19,3
Región de Valparaíso	Valparaíso	17	16,8	15,6	14,2	13,3	12	11,4	11,7	12,1	13,2	14,7	16,2
	Quillota	20,2	20,5	19,6	16,4	13,7	11,8	10,8	11,6	12,9	15,1	16,9	19
	Pascua, Isla de(este)	23,9	23,9	23,9	22,8	21,1	19,4	18,9	18,3	18,9	19,4	20,6	22,2
	San Felipe	16,6	16,2	14,5	10,4	6,9	4,6	3,1	4,4	6,6	9,9	12,6	15,4
Región Metropolitana de Santiago	Santiago/Qta Normal	20,9	19,9	17,6	14,2	11,1	8,5	8,1	9,5	11,5	14,5	17,3	19,9
	Pudahuel/Arturo Merino Benítez	20,7	20,1	18,1	14,4	10,7	8,7	7,9	9,4	11,6	14,5	17,2	19,8
Región del Lib. Gral. Bdo. O'Higgins	Rancagua	17	16,8	14,7	10,1	6,4	4,1	2,9	3,9	5,8	9,2	12,4	15,4
Región del Maule	Talca	18,8	19,1	17,3	13,2	10,1	7,8	6,8	7,5	9	11,7	14,4	17,2
	Curico	19,4	19,9	18,6	15	12,2	10	8,9	9,6	11	13,4	15,6	18
	Constitución	18,9	19,3	18,3	15,6	13,7	12,2	11,2	11,3	11,9	13,5	15,3	17,4
Región del Bío Bío	Concepción/Carriel	16,3	15,7	13,9	12	10,8	9,2	8,8	9,1	9,7	11,5	13,5	15,5
	Los Ángeles	17,6	18,4	16,7	12,8	10,3	8,4	7,5	8,1	9,1	11,2	13,3	15,7
	Coronel	15,4	15,9	15,1	13,3	12,2	11,2	10,4	10,2	10,4	11,2	12,4	14,1
	San Carlos	17,4	17,6	15,5	11	7,8	5,8	4,8	5,7	7,1	9,9	12,9	15,7

	Chillán	19,6	20,2	18,5	14,6	11,9	9,8	8,8	9,3	10,5	12,9	15,2	17,8
Región de la Araucanía	Temuco/Manquehue	16,1	16,1	14,1	11,5	9,6	8,2	7,1	8	9,3	11,2	12,9	15
	Carahue	14,9	15,4	14,5	12,6	11,6	10,5	9,7	9,6	9,8	10,6	11,7	13,5
	Villarrica	15,1	15,7	13,6	10	8	6,4	5,6	6,3	7,4	9,3	11	13,3
Región de los Ríos	Valdivia	15	15,6	14,2	11,7	10,4	9,2	8,4	8,6	9	10,2	11,5	13,5
	Río Bueno	13,7	14,3	12,3	8,8	6,9	5,3	4,6	5,3	6,5	8,3	10	12,1
Región de los Lagos	Pto Montt/Tepual	14,3	13,9	12,5	10,3	8,8	7,1	6,5	7,1	8,3	9,7	11,6	13,4
	Osorno	14,4	15,1	13,4	10,7	9,1	7,6	6,9	7,4	8,1	9,5	10,9	12,8
	Castro	12,4	13,1	11,9	9,6	8	6,4	5,8	6,4	7,2	8,5	9,6	11,2
Región de Aysén	Coyaique	9,2	9,9	8	5,5	3,3	1,3	0,8	2	3,3	5,1	6,6	8,2
	Balmaceda	12,2	12,3	9,9	6,8	3,5	1,3	0,2	2,2	4,6	7,2	9,5	10,8
Región de Magallanes y Antártica Chilena	Pta Arenas	10,5	10,1	8,2	6	3,4	1,5	1,1	2	4	6,4	8,2	9,7
	Base A. Prat	1,7	1,8	0,7	-1,4	-3,4	-5	-6,2	-5,5	-4,5	-2,5	-0,8	0,6
	Bdo. O'Higgins	0,8	0,4	-1,2	-3,5	-5,5	-7,1	-8	-7,4	-5,9	-3,6	-1,5	0,1
	Frei Chi-base	1,5	1,6	0,6	-1,7	-3,4	-5,1	-6,1	-5,5	-4,4	-2,5	-0,9	0,4

Tabla 55: Radiación solar diaria horizontal kWh/(m² · día)

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Región de Arica y Parinacota	Arica/Chacalluta	6,06	6,14	5,53	4,56	3,64	2,94	2,92	3,44	4,28	5,33	5,83	6,31
Región de Tarapacá	Iquique/Diego Arac	6,53	6,33	5,44	4,53	3,42	2,83	2,72	3,25	4,03	5,19	6,08	6,69
Región de Antofagasta	Antofagasta/cerro	6,83	6,67	5,75	4,72	3,69	3,17	3,44	4,11	5,17	6,14	6,75	7,17
	Calama	8,32	7,71	6,93	6,08	5,21	4,73	4,99	5,79	7,1	8,02	8,77	8,84
	Tocopilla	7,84	7,46	6,34	4,78	3,56	2,85	3,14	3,79	4,84	5,94	6,83	7,46
	Tal Tal	7,24	6,7	5,44	4,17	3,31	2,81	3,12	3,77	4,68	5,39	6,21	6,8
Región de Atacama	Copiapó	7,11	6,67	5,53	4,22	3,44	2,89	3,31	4,08	5,19	6,36	6,92	7,44
	Vallenar	7,53	6,86	5,64	4,25	3,33	2,75	3,11	3,86	5,03	6,47	7,17	7,81
	Chañaral	6,06	5,58	4,53	3,67	2,78	2,56	2,78	3,17	4,06	4,94	5,42	6,33
Región de Coquimbo	La Serena/La Florida	6,22	5,89	4,56	3,14	2,5	2,39	2,47	3	4,06	4,78	5,53	6,28
	Ovalle	6,94	6,15	5,16	4,27	3,26	2,86	3,06	3,86	5,14	6,08	6,71	7,14
	Monte Patria	8,16	7,3	6,06	4,87	3,57	3,04	3,24	4,12	5,39	6,76	7,78	8,31
	Salamanca	8,31	7,41	6,09	4,78	3,4	2,91	3,02	3,89	5,19	6,59	7,76	8,51
	Illapel	7,09	6,14	5,25	4,32	3,2	2,78	2,99	3,82	5,18	6,25	6,86	7,35
Región de Valparaíso	Valparaíso	6,09	5,01	4,01	2,73	1,79	1,45	1,74	2,53	3,42	4,29	5,39	5,92
	Quillota	7,43	6,33	5,39	4,33	3,06	2,64	2,88	3,71	5,12	6,33	7,19	7,67
	Pascua, Isla de(este)	5,89	5,14	4,53	3,69	2,86	2,33	2,67	3,19	4,06	4,94	5,61	5,69
	San Felipe	8,3	7,37	5,98	4,57	3,19	2,69	2,88	3,72	4,97	6,39	7,7	8,47
Región Metropolitana de Santiago	Santiago/Qta Normal	6,28	5,56	4,19	2,58	1,75	1,22	1,33	2,28	3,06	4,86	5,69	6,42
	Pudahuel/Arturo Merino												
	Benítez	8,49	7,5	6,01	4,39	2,98	2,47	2,7	3,52	4,82	6,34	7,79	8,58

Región del Lib. Gral. Bdo. O'Higgins	Rancagua	8,74	7,66	6,03	4,24	2,78	2,22	2,5	3,34	4,7	6,19	7,82	8,76
Región del Maule	Talca	8,34	7,23	5,65	3,94	2,53	2,01	2,29	3,12	4,58	6,04	7,59	8,39
	Curico	8,16	6,97	5,56	4,1	2,73	2,25	2,56	3,37	4,82	6,2	7,63	8,39
	Constitución	8,39	7,17	5,7	4,1	2,67	2,2	2,51	3,37	4,88	6,38	7,78	8,46
Región del Bío Bío	Concepción/Carriel	7,06	5,86	4,69	3,17	1,75	1,47	1,67	2,5	3,78	5,39	6,39	6,92
	Los Ángeles	8,07	6,98	5,31	3,57	2,26	1,74	2,05	2,83	4,23	5,58	7,04	7,96
	Coronel	8	6,93	5,36	3,66	2,37	1,88	2,17	3,05	4,52	5,87	7,14	7,96
	San Carlos	8,46	7,36	5,7	3,83	2,44	1,9	2,18	3,03	4,46	5,94	7,54	8,41
	Chillán	8,37	7,18	5,61	3,84	2,45	1,98	2,29	3,12	4,64	6,06	7,62	8,41
Región de la Araucanía	Temuco/Manquehue	7,73	6,76	5,09	3,37	2,14	1,65	1,93	2,73	4,08	5,35	6,65	7,56
	Carahue	7,8	6,81	5,17	3,46	2,22	1,75	2,03	2,9	4,31	5,74	6,9	7,75
	Villarrica	7,32	6,48	4,81	3,11	1,97	1,5	1,75	2,53	3,84	5,17	6,43	7,19
Región de los Ríos	Valdivia	7,68	6,73	5,08	3,37	2,15	1,69	1,98	2,82	4,18	5,68	6,83	7,62
	Río Bueno	6,8	6,06	4,47	2,86	1,83	1,38	1,63	2,33	3,55	4,85	5,9	6,78
Región de los Lagos	Pto Montt/Tepual	6,65	6,02	4,43	2,91	1,83	1,45	1,66	2,42	3,6	5,03	6,11	6,74
	Osorno	7,1	6,3	4,72	3,08	1,97	1,54	1,8	2,58	3,84	5,29	6,38	7,19
	Castro	6,13	5,59	4,08	2,67	1,67	1,3	1,5	2,2	3,3	4,59	5,53	6,1
Región de Aysén	Coyaique	4,46	4,4	3,11	1,97	1,28	0,97	1,12	1,68	2,63	3,64	4,16	4,49
	Balmaceda	6,08	5,54	3,88	2,49	1,5	0,99	1,19	1,91	3,07	4,64	5,72	6,22
Región de Magallanes y Antártica Chilena	Pta Arenas	5,64	4,44	3,03	1,75	0,83	0,58	0,67	1,44	2,64	4,17	5,64	5,92
	Base A. Prat	4,89	3,59	2,23	0,99	0,34	0,08	0,18	0,72	1,87	3,38	4,7	5,37
	Bdo. O'Higgins	5,11	3,7	2,29	1,03	0,27	0,06	0,13	0,62	1,65	3,28	4,77	5,71
	Frei Chi-base	4,89	3,59	2,23	0,99	0,34	0,08	0,18	0,72	1,87	3,38	4,7	5,37

Tabla 56: Velocidad del viento a 10 metros del suelo, en m/s

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Región de Arica y Parinacota	Arica/Chacalluta	5,7	5,7	5,7	5,1	4,6	4,1	4,1	4,1	4,6	4,6	5,1	5,7
Región de Tarapacá	Iquique/Diego Arac	6,2	6,7	4,6	6,2	5,7	5,1	5,1	5,1	5,7	5,7	5,7	6,2
Región de Antofagasta	Antofagasta/cerro	5,7	5,7	5,1	5,1	4,6	4,6	5,1	5,1	5,7	5,7	5,7	5,7
	Calama	3,4	3,6	3,8	4,2	4,4	4,6	5	4,9	5,1	4,5	4,1	3,6
	Tocopilla	3,8	3,8	3,8	3,9	4	4,1	4,3	4,3	4,5	4,3	4,1	3,8
	Tal Tal	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,2	4,5	4,5	4,6	4,5	4,4	3,9
Región de Atacama	Copiapó	3,9	3,9	4	4	4,2	4,2	4,6	4,4	4,5	4,5	4,5	4
	Vallenar	3,9	3,9	4	4	4,2	4,2	4,6	4,3	4,4	4,5	4,5	4
	Chañaral	6,2	6,2	5,7	5,1	4,6	4,6	4,6	5,1	5,7	6,2	6,2	6,7
Región de Coquimbo	La Serena/La Florida	4,1	4,1	4,1	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	4,1	4,1	4,1
	Ovalle	4,4	4,3	4,2	4,2	4,4	4,4	4,9	4,5	4,5	4,8	4,8	4,5
	Monte Patria	3,9	3,9	3,8	4	4,2	4,2	4,6	4,3	4,3	4,5	4,5	4
	Salamanca	3,9	3,9	3,8	3,9	4,2	4,2	4,7	4,3	4,3	4,4	4,4	4

	Illapel	4,4	4,4	4,2	4,2	4,5	4,5	5	4,6	4,6	4,8	4,8	4,6
Región de Valparaíso	Valparaíso	4,5	4,5	4,2	4,1	4,6	4,5	5	4,7	4,6	4,7	4,8	4,6
	Quillota	4,5	4,4	4,2	4,1	4,6	4,5	5	4,7	4,6	4,8	4,8	4,6
	Pascua, Isla de(este)	5,1	4,6	4,6	4,1	4,6	4,6	4,6	5,1	4,6	4,6	5,1	4,6
	San Felipe	3,9	3,9	3,7	3,9	4,3	4,3	4,6	4,3	4,3	4,4	4,4	4
Región Metropolitana de Santiago	Santiago/Qta Normal	3,1	3,6	3,1	3,1	2,6	2,6	2,1	2,6	3,1	3,6	3,6	3,6
	Pudahuel/Arturo Merino Benítez	3,4	3,1	2,7	2,1	1,7	1,7	1,7	1,9	2,3	2,7	3,1	3,4
Región del Lib. Gral. Bdo. O'Higgins	Rancagua	4	3,9	3,7	3,9	4,3	4,2	4,4	4,3	4,2	4,3	4,2	4
Región del Maule	Talca	4,2	4,2	3,9	4	4,3	4,3	4,4	4,2	4,2	4,3	4,2	4,2
	Curico	4,4	4,4	4,1	4,1	4,5	4,5	4,8	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5
	Constitución	4,5	4,4	4,1	4,1	4,5	4,4	4,6	4,4	4,3	4,4	4,3	4,3
Región del Bío Bío	Concepción/Carriel	7,2	6,2	6,2	5,1	7,7	8,2	9,3	7,2	7,2	6,2	6,7	7,2
	Los Ángeles	4,2	4,1	3,9	3,9	4,2	4,1	4,2	4	4	4	3,9	4
	Coronel	5,2	5,1	4,7	4,7	5,2	5	5,2	4,9	4,9	4,9	4,9	5
	San Carlos	4,1	4,1	3,8	3,9	4,3	4,2	4,3	4,1	4,1	4,1	4	4
	Chillán	4,3	4,2	3,9	3,9	4,3	4,2	4,3	4,1	4,1	4,1	4	4
Región de la Araucanía	Temuco/Manquehue	2,9	2,7	2,3	2,2	2,6	2,8	2,9	2,7	2,6	2,5	2,6	2,8
	Carahue	5,1	5	4,7	4,8	5,4	5,2	5,3	5	5	4,9	4,8	5
	Villarrica	4,1	4	3,9	4,1	4,5	4,3	4,4	4,2	4,1	4,1	4	4,2
Región de los Ríos	Valdivia	5,1	4,8	4,8	5	5,6	5,5	5,5	5,2	5,1	5,1	4,9	5,2
	Río Bueno	4,3	4	4	4,3	4,7	4,5	4,6	4,3	4,2	4,2	4,2	4,4
Región de los Lagos	Pto Montt/Tepual	3,2	3,1	3	3,1	3,6	3,8	3,8	3,7	3,6	3,3	3,3	3,3
	Osorno	5,2	4,9	4,9	5,2	5,8	5,7	5,8	5,4	5,3	5,2	5	5,3
	Castro	5,7	5,2	5,2	5,9	6,2	6,1	6,1	5,9	5,7	5,7	5,5	5,9
Región de Aysén	Coyaique	5,4	4,8	4,5	4,9	4,8	4,6	4,7	4,7	4,7	4,9	5,2	5,3
	Balmaceda	10	8,5	7,4	7,3	5,6	5,2	5,1	6	6,6	8,2	9,4	9,8
Región de Magallanes y Antártica Chilena	Pta Arenas	8,2	8,2	8,2	7,2	6,2	6,2	6,7	7,7	7,7	8,7	9,3	8,7
	Base A. Prat	4,7	4,8	5,3	6,2	6,3	6,5	6,5	6,1	6,4	6,5	5,4	4,8
	Bdo. O'Higgins	5,3	5,5	5,8	6,1	6,4	7,7	6,7	6,8	7	6,6	5,9	5,5
	Frei Chi-base	6,8	6,9	7,6	7,8	7,7	7,8	7,7	8,3	8,3	8,7	7,5	6,8

ANEXO 2: CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA CÁMARA DE MANTENCIÓN DE FRÍO

Para diseñar un cuarto de almacenamiento de frío primero se deben considerar todas las posibles fuentes de ganancias y pérdidas de calor:

- **Calor transmitido desde el exterior** al espacio enfriado, por conducción, a través de las paredes aisladas ($q1$)
- **Calor entregado por el producto** al bajar su temperatura al nivel deseado ($q2$)
- **Calor que entra al espacio** con el aire exterior a través de puertas, ventanas, rendijas, etc. ($q3$)
- **Calor misceláneo**, proveniente de fuentes cercanas de calor, como motores, luces, personas, etc. ($q4$)

El calor $q1$ que se transmite a las paredes, cielo y piso depende de:

- Tipo y espesor de los materiales empleados en la construcción
- Área de la envolvente del espacio frío
- Diferencia de temperatura entre el exterior y el espacio frío.

Estos 3 factores están relacionados por la siguiente ecuación:

Ecuación 8: Calor transmitido por la envolvente de la bodega

$$q1 = U \cdot A \cdot \Delta T$$

donde:

- A : área de la envolvente del recinto [m^2]
 ΔT : diferencia de temperatura entre la zona de exterior y el espacio frío
 U : coeficiente de transmisión de calor

El coeficiente U depende de él o los coeficientes de conductividad térmica de el o los materiales empleados en la construcción y sus respectivos espesores y que se calcula como sigue:

Ecuación 9: Cálculo del coeficiente de transmisión de calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_e} + \frac{x_1}{k_1} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{f_i}}$$

donde:

- f_i, f_e : coeficientes de convección de película de aire interior y exterior respectivamente y dependen de la existencia de circulación de un flujo de aire
 x_i : espesor del material i
 k_i : conductividad térmica del material i

Para determinar el espesor y el material adecuado se deben tener consideraciones como el tipo de aislamiento, costos, tipo de construcción por ejemplo si es necesario que el material tenga buena resistencia mecánica.

Para diseñar el equipo se debe tener también una temperatura de diseño exterior, que es la temperatura que no se excede más que un porcentaje del tiempo, depende de la localidad geográfica. Se puede agregar un factor de corrección si el cuarto de frío está expuesto directamente a radiación solar.

El **calor q_2** , entregado por el producto, depende si el producto es o no congelado. En el caso de no ser congelado se tiene que el calor transmitido es:

Ecuación 10: Calor entregado por un producto al ser enfriado, sin llegar al congelamiento

$$q_2 = W \times c \times (T_1 - T_2)$$

donde:

- W : peso del producto
 c : calor específico del producto
 T_1 : Temperatura de entrada del producto a la cámara
 T_2 : Temperatura a la que se debe almacenar el producto

En caso contrario, si la temperatura de almacenamiento T_a es inferior a la de temperatura de congelación T_f , se tiene la siguiente expresión:

Ecuación 11: Calor entregado por un producto al ser congelado

$$q_2 = W \left[c \cdot (T_1 - T_f) + L + c_i \cdot (T_f - T_a) \right]$$

Donde L es el calor latente⁷³ o la entalpía del producto y c_i es el calor específico del producto congelado.

El **calor q_3** , que es incorporado a la cámara de frío a través de los cambios de aire o las filtraciones a través de puertas o ventanas del recinto, tiene un valor estimado, según algunos diseñadores como un 15% de la ganancia debido a las paredes, otros diseñadores estiman este valor en 20% para servicio liviano, 33,3% para servicio normal o 50% para servicio pesado.

⁷³ El calor de cambio de estado, es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado, de sólido a líquido (calor latente de fusión) o de líquido a gaseoso (calor latente de vaporización)

El calor perdido se puede calcular como:

Ecuación 12: Calor perdido por cambio de aire

$$q = V \cdot N \cdot Q$$

donde:

- V^{74} : volumen de aire extraído
 N : número de veces que se realiza cambio de aire en 24 horas
 Q^{75} : calor extraído para enfriar el espacio exterior a la temperatura del espacio frío [Btu/m³]

Es importante mencionar que para el diseño del sistema y selección de un motor, al calor calculado se le suele agregar un factor de seguridad de un 5% o 10%.

El Factor de uso del compresor puede estimarse como:

Ecuación 13: Cálculo del factor de utilización

$$Fu = \frac{Q_{necesario}}{Q_{compresor}}$$

Donde $Q_{necesario}$ es el calor calculado a remover y $Q_{compresor}$ es la capacidad de remover calor del compresor

⁷⁴ El volumen de aire extraído normalmente se expresa como el volumen del espacio frío

⁷⁵ Depende de la temperatura de entrada y de la humedad relativa del aire

ANEXO 3: PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL DISEÑO DE LA BODEGA DE ALMACENAMIENTO

Tabla 57: Temperaturas promedio para Antofagasta, Santiago y Puerto Montt, en °C

	T° media Antofagasta [°C]	T° media Santiago [°C]	T° media Puerto Montt [°C]
Enero	20,5	22	14
Febrero	21	20,5	15
Marzo	18,5	17,5	12
Abril	16	15	10
Mayo	15,5	12	8
Junio	13,5	10	8,5
Julio	13	10	7
Agosto	14	11	7
Septiembre	15	13,5	7,5
Octubre	16,5	15,5	9
Noviembre	17	17,5	11
Diciembre	19	20	13

Fuente: Anuario de la Dirección Meteorológica de Chile 2006

Tabla 58: Propiedades térmicas de algunos productos agrícolas

	Temperatura Enfriamiento		Calor Especifico	Tiempo enfriamiento
	min °F	max °F	btu/lb°F	hr
Manzana	30	32	0,89	24
Uva	31	32	0,9	20
Cerezas	31	32	0,9	20
Limonas	55	60	0,91	20
Naranjas	32	34	0,91	22
Duraznos	31	33	0,91	24
Peras	29	31	0,91	24
Ciruelas	31	32	0,88	20
Membrillos	31	32	0,9	24
Espárragos	32	36	0,91	24
Brócoli	32	36	0,9	24
Zanahorias (sin ramas)	32	36	0,86	24
Coliflor	32	36	0,9	24
Apio	31	32	0,91	
Lechuga	32	36	0,9	
Tomates (verdes)	55	60	0,92	24
Tomates (maduros)	44	50	0,92	24

Tabla 59: Calores de respiración a diferentes temperaturas de algunos productos agrícolas

Producto	BTU/(lb x hr)		
	32°F	40°F	60°F
Manzana	0,018	0,03	0,12
Uva	0,0075	0,014	0,05
Cerezas	0,032		0,25
Limonos	0,012	0,017	0,062
Naranjas	0,017	0,029	0,104
Duraznos	0,023	0,036	0,17
Peras	0,016		0,23
Ciruelas	0,032		0,25
Membrillos	0,018	0,03	0,12
Espárragos	0,035		
Zanahorias (sin ramas)	0,045	0,073	0,17
Coliflor	0,059	0,095	0,28
Apio	0,059	0,095	0,28
Lechuga	0,24	0,33	0,96
Tomates (verdes)		0,027	0,13
Tomates (maduros)		0,027	0,13

Tabla 60: Cambios de aire considerados en función del tamaño del recinto

Dimensiones de la bodega pies ³	Nº cambios aire
250	38
300	34,5
400	29,5
500	26
600	23
800	20
1.000	17,5
1.500	14
2.000	12
3.000	9,5
4.000	8,2
5.000	7,2
6.000	6,5
8.000	5,5
10.000	4,9
15.000	3,9
20.000	3,5
25.000	3
30.000	2,7
40.000	2,3
50.000	2
75.000	1,6
100.000	0,14

Tabla 61: Equivalente calorífico para motores eléctricos

Potencia del motor [HP]	Carga tipo 1 Btu/(HP x hr)	Carga tipo 2 Btu/(HP x hr)	Carga tipo 3 Btu/(HP x hr)
0 a 1/2	4.250	2.545	1.700
1/2 a 3	3.700	2.545	1.150
3 a 20	2.950	2.545	400

Los tipos de carga son los siguientes:

- Tipo 1 : Cuando la carga del motor y su trabajo útil se disipan dentro del espacio refrigerado.
- Tipo 2 : Cuando la carga del motor se disipa fuera del espacio refrigerado, pero el trabajo útil se efectúa dentro del espacio
- Tipo 3 : Cuando el calor del motor se disipa dentro pero el trabajo útil se efectúa fuera

Tabla 62: Calor equivalente por persona según temperatura de operación

Temperatura del enfriador [°F]	Calor equivalente por persona [Btu/h]
50	720
40	840
30	950
20	1050
10	1200
0	1300
-10	1400

Tabla 63: Factores de utilización considerados para el diseño de las bodegas refrigeradas en Antofagasta

	Cámara pequeña, 200 kg		Cámara mediana, 350 kg		Cámara grande, 500 kg	
	Fu enfriamiento	Fu mantención	Fu enfriamiento	Fu mantención	Fu enfriamiento	Fu mantención
Enero	0,43	0,36	0,46	0,35	0,58	0,43
Febrero	0,44	0,36	0,47	0,36	0,59	0,44
Marzo	0,41	0,34	0,44	0,33	0,55	0,40
Abril	0,38	0,31	0,41	0,30	0,51	0,35
Mayo	0,38	0,31	0,40	0,29	0,50	0,35
Junio	0,36	0,29	0,38	0,27	0,47	0,31
Julio	0,37	0,30	0,40	0,29	0,49	0,34
Agosto	0,36	0,29	0,38	0,28	0,47	0,32
Septiembre	0,37	0,30	0,40	0,29	0,49	0,34
Octubre	0,39	0,32	0,41	0,31	0,52	0,36
Noviembre	0,39	0,32	0,42	0,31	0,52	0,37
Diciembre	0,42	0,34	0,44	0,34	0,56	0,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Requerimientos de calor para las bodegas refrigeradas en Antofagasta, en kcal/hr

	Cámara pequeña, 200 kg		Cámara mediana, 350 kg		Cámara grande, 500 kg	
	Calor enfriamiento	Calor Mantención	Calor enfriamiento	Calor Mantención	Calor enfriamiento	Calor Mantención
Enero	1.034	861	1.290	988	1.636	1.205
Febrero	1.046	873	1.306	1.005	1.660	1.228
Marzo	985	812	1.224	923	1.541	1.110
Abril	923	751	1.143	841	1.422	991
Mayo	911	739	1.126	824	1.398	967
Junio	862	690	1.061	759	1.303	872
Julio	899	726	1.110	808	1.374	943
Agosto	874	702	1.077	775	1.327	896
Septiembre	899	726	1.110	808	1.374	943
Octubre	936	763	1.159	857	1.446	1.015
Noviembre	948	775	1.175	874	1.469	1.038
Diciembre	997	824	1.241	939	1.564	1.133

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65: Factores de utilización considerados para el diseño de las bodegas refrigeradas en Santiago

	Cámara pequeña, 200 kg		Cámara mediana, 350 kg		Cámara grande, 500 kg	
	Fu enfriamiento	Fu mantención	Fu enfriamiento	Fu mantención	Fu enfriamiento	Fu mantención
Enero	0,51	0,44	0,55	0,43	0,69	0,53
Febrero	0,50	0,42	0,53	0,42	0,66	0,50
Marzo	0,47	0,39	0,49	0,38	0,61	0,45
Abril	0,44	0,37	0,46	0,35	0,57	0,41
Mayo	0,41	0,34	0,43	0,32	0,52	0,36
Junio	0,39	0,32	0,41	0,29	0,49	0,33
Julio	0,39	0,32	0,41	0,29	0,49	0,33
Agosto	0,40	0,33	0,42	0,31	0,50	0,34
Septiembre	0,43	0,35	0,45	0,33	0,55	0,39
Octubre	0,45	0,37	0,46	0,35	0,58	0,42
Noviembre	0,47	0,39	0,49	0,38	0,61	0,45
Diciembre	0,49	0,42	0,52	0,41	0,66	0,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Requerimientos de calor para las bodegas refrigeradas en Santiago, en kcal/hr

	Cámara pequeña, 200 kg		Cámara mediana, 350 kg		Cámara grande, 500 kg	
	Calor enfriamiento	Calor Mantención	Calor enfriamiento	Calor Mantención	Calor enfriamiento	Calor Mantención
Enero	1.235	1.055	1.530	1.215	1.932	1.482
Febrero	1.199	1.019	1.481	1.166	1.861	1.411
Marzo	1.125	945	1.383	1.068	1.719	1.268
Abril	1.064	884	1.301	986	1.600	1.150
Mayo	991	811	1.202	887	1.457	1.007
Junio	942	762	1.137	822	1.362	912
Julio	942	762	1.137	822	1.362	912
Agosto	966	786	1.170	855	1.410	960
Septiembre	1.027	847	1.252	937	1.528	1.078
Octubre	1.076	896	1.301	986	1.624	1.173
Noviembre	1.125	945	1.383	1.068	1.719	1.268
Diciembre	1.186	1.006	1.465	1.149	1.837	1.387

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67: Factores de utilización considerados para el diseño de las bodegas refrigeradas en Santiago

	Cámara pequeña, 200 kg		Cámara mediana, 350 kg		Cámara grande, 500 kg	
	Fu enfriamiento	Fu mantención	Fu enfriamiento	Fu mantención	Fu enfriamiento	Fu mantención
Enero	0,38	0,33	0,39	0,31	0,48	0,36
Febrero	0,39	0,34	0,41	0,33	0,49	0,38
Marzo	0,36	0,31	0,37	0,29	0,44	0,33
Abril	0,34	0,29	0,35	0,27	0,41	0,30
Mayo	0,32	0,27	0,32	0,24	0,38	0,26
Junio	0,33	0,28	0,33	0,25	0,38	0,27
Julio	0,31	0,26	0,31	0,23	0,36	0,25
Agosto	0,31	0,26	0,31	0,23	0,36	0,25
Septiembre	0,32	0,27	0,32	0,24	0,37	0,25
Octubre	0,33	0,28	0,34	0,26	0,39	0,28
Noviembre	0,35	0,30	0,36	0,28	0,43	0,31
Diciembre	0,37	0,32	0,38	0,30	0,46	0,35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68: Requerimientos de calor para las bodegas refrigeradas en Puerto Montt, en kcal/hr

	Cámara pequeña, 200 kg		Cámara mediana, 350 kg		Cámara grande, 500 kg	
	Calor enfriamiento	Calor Mantención	Calor enfriamiento	Calor Mantención	Calor enfriamiento	Calor Mantención
Enero	923	796	1.104	882	1.337	1020
Febrero	948	821	1.136	915	1.384	1067
Marzo	874	747	1.038	816	1.242	925
Abril	825	699	973	751	1.146	830
Mayo	776	650	907	685	1.051	734
Junio	789	662	923	702	1.075	758
Julio	752	625	874	652	1.004	687
Agosto	752	625	874	652	1.004	687
Septiembre	764	637	891	669	1.028	711
Octubre	801	674	940	718	1.099	782
Noviembre	850	723	1.005	784	1.194	877
Diciembre	899	772	1.071	849	1.289	972

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4: REQUERIMIENTOS DE FRÍO PARA DISTINTOS PRODUCTOS

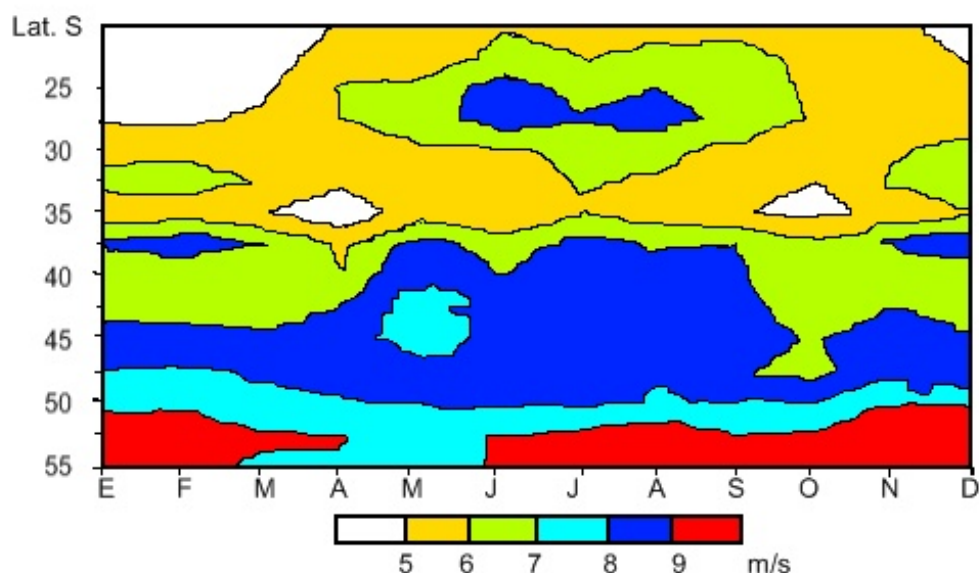
Producto	Requerimientos de Frío	Zona productiva
Tomate	Verde Maduro 12.5 - 15°C (55 - 60°F) Rojo Claro (Estado 5 de Color USDA) 10 - 12.5°C (50 - 55°F) Maduro Firme (Estado 6 de Color USDA) 7 - 10°C (44 - 50°F) por 3 a 5 días Los tomates Verde Maduro pueden almacenarse a 12.5°C (55°F) por 14 días	- Valle de Azapa, Primera región. - en Chile había cerca de 1.400 hectáreas de tomate en invernadero: cerca de un 80% en la quinta región, seguida muy atrás por las regiones tercera, cuarta, sexta y séptima. - En el Maule este cultivo se concentra especialmente en la localidad de Colín, comuna de Maule.
Berries (Bayas)	0±0.5°C (32±1°F) para zarzamora y frambuesa (2-5 días); para arándano azul (1-2 semanas); 3±1°C (37±2°F) para arándano rojo (2-4 meses)	La producción de berries representa una actividad con miles de agricultores presentes involucrados en las regiones IV a la X, y más de 100 empresas elaboradoras y exportadoras.
Queso de Cabra		- En la IV Región se producen alrededor del 50%. Se diferencian sectores de producción que generan quesos en diferentes meses, partiendo en agosto y hasta octubre en los sectores costeros; luego se inicia la producción en los valles y precordillera, para terminar en marzo con los quesos de las veranadas de la Cordillera Andina - Chevrita optó por instalar su planta productiva en Colina, en la Región Metropolitana. Ello porque el 80% del consumo nacional se concentra en la Zona Central del país y una ubicación más cercana a este mercado economiza los costos. - Purranque, X Región
Leche de Cabra		La producción de leche caprina se concentra mayoritariamente entre la IV, V y Región Metropolitana, que representan el 90% del total.
Queso de Oveja		- La población de ovejas lecheras en el país alcanza apenas a unos cientos de animales, existiendo actualmente solo dos razas lecheras, que son la Latxa y la Milchscaf.
Leche de Oveja		- El queso el "Valchac" es producido enteramente con leche de ovejas (de raza Corriedale) en la XI Región, y está presente en es mercado desde 1999.
Pescado y mariscos	A una temperatura de 20-25°C las bacterias que descomponen el pescado y mariscos son más activas, disminuyendo su actividad a -10°C y se detienen por completo por debajo de -10°C.	Zona costera a lo largo del país

ANEXO 5: CARACTERÍSTICAS EÓLICAS DE CHILE

El régimen de viento a lo largo del país está controlado por los campos de presiones, los cuales varían a lo largo del año. Los sectores norte y central de Chile se encuentran bajo la influencia del anticiclón subtropical del Pacífico Sur, situación que favorece el establecimiento de vientos con una componente desde el sur en las áreas oceánicas adyacentes.

Dado que durante los meses de verano se observa un mayor gradiente de presión, desde los 45° de latitud sur, se observa un leve aumento en la velocidad del viento en dicha época, además de un aumento en la velocidad media del viento a medida que nos desplazamos hacia el sur del país.

Figura 23: Evolución de la velocidad del viento en un año a lo largo del borde costero chileno



(*): la velocidad del viento fue medida a 1.000 mb frente a la costa chilena (longitudes 72,5°W y 75°W, según análisis diarios del Centro Meteorológico Europeo, periodo 1980 – 1987)

Además de considerar las coordenadas geográficas y la presión de la zona para tener una idea de las características de viento, es importante considerar las características propias del lugar, las cuales muestran una marcada tendencia a variaciones en ciclos diarios. Entre los ciclos diarios más significativos se tienen los de brisas costeras y brisas de ladera o valle, que se derivan de una diferente respuesta al ciclo diario de insolación. Tales contrastes alcanzan su máxima expresión unas dos horas después del mediodía solar y su intensidad está modulada por la presencia de nubosidad y el tipo de cobertura del suelo⁷⁶.

Así puede decirse que según la zona geográfica del país las principales componentes del viento son:

⁷⁶ Dado que este fenómeno está influenciado por la nubosidad es que se hace menos notorio en la zona sur del país.

- **Zona norte:** el viento está dominado por factores locales, que, dada la estabilidad de las condiciones atmosféricas, muestra un ciclo diario muy regular, mostrando un máximo en la velocidad del viento cerca del medio día
- **Zona sur⁷⁷:** el régimen de viento está condicionado por los factores de gran escala. El ciclo diario y mensual están fuertemente influenciados por las condiciones sinópticas. Los vientos más fuertes se asocian al paso de sistemas frontales
- **Zona Centro:** Es una zona de transición, donde, en verano los efectos principales son los locales, y en invierno dominan los factores de gran escala

⁷⁷ Se considera como zona sur, para efectos de análisis de las características del viento, al territorio ubicado al sur de los 40° de latitud sur

ANEXO 6: REVISIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN

En la actualidad, además de los ciclos de enfriamiento convencionales, cuyo eje central es un condensador eléctrico, y que está ampliamente difundido a nivel mundial, existen otros, basados en propiedades físicas de ciertas soluciones, las cuales, por diferencias de presiones, pueden absorber calor de un espacio determinado y liberarlo fuera de este.

Si bien la tecnología en refrigeración por absorción y adsorción, son relativamente más simples que las tradicionales al no tener partes móviles, aún no existen sistemas funcionando en base a energía solar con la confiabilidad de las otras tecnologías más tradicionales. Pero se visualiza que los últimos años de estudio en la materia en las universidades alrededor del mundo, van a brindar sus frutos en el mediano plazo, consiguiendo sistemas comerciales confiables en base a esta tecnología a precios razonables.

A. Refrigeración por absorción

Este método de refrigeración está reservado casi universalmente a grandes instalaciones comerciales, pero existen algunos equipos a menor escala que utilizan el concepto. Este método de refrigeración fundamenta su funcionamiento en el hecho de que algunas sustancias conocidas como absorbedores, tienen gran capacidad de absorber vapores de otras, conocidas como refrigerantes, generando la disminución de presión suficiente para la evaporación del refrigerante y el consecuente enfriamiento. En la práctica se usan comúnmente los sistemas:

- Agua-amoniaco, donde el agua es el absorbedor y el amoniaco el refrigerante.
- Bromuro de litio-agua, donde el bromuro de litio es el absorbedor y el refrigerante el agua

Suponiendo que para este sistema el absorbedor es agua y el refrigerante amoniaco, el funcionamiento se puede describir de la siguiente forma: el agua casi pura que proviene del generador se inyecta en forma de llovizna dentro de la cámara del evaporador, donde absorbe los vapores de amoniaco que están dentro del evaporador, provocando que la presión dentro del evaporador se vea reducida.

La baja en la presión genera vacío, lo hace que en el lado izquierdo del evaporador (donde está siendo inyectado el refrigerante, Figura 24), se produzca la evaporación del líquido refrigerante, lo que tiene como consecuencia un enfriamiento del fluido.

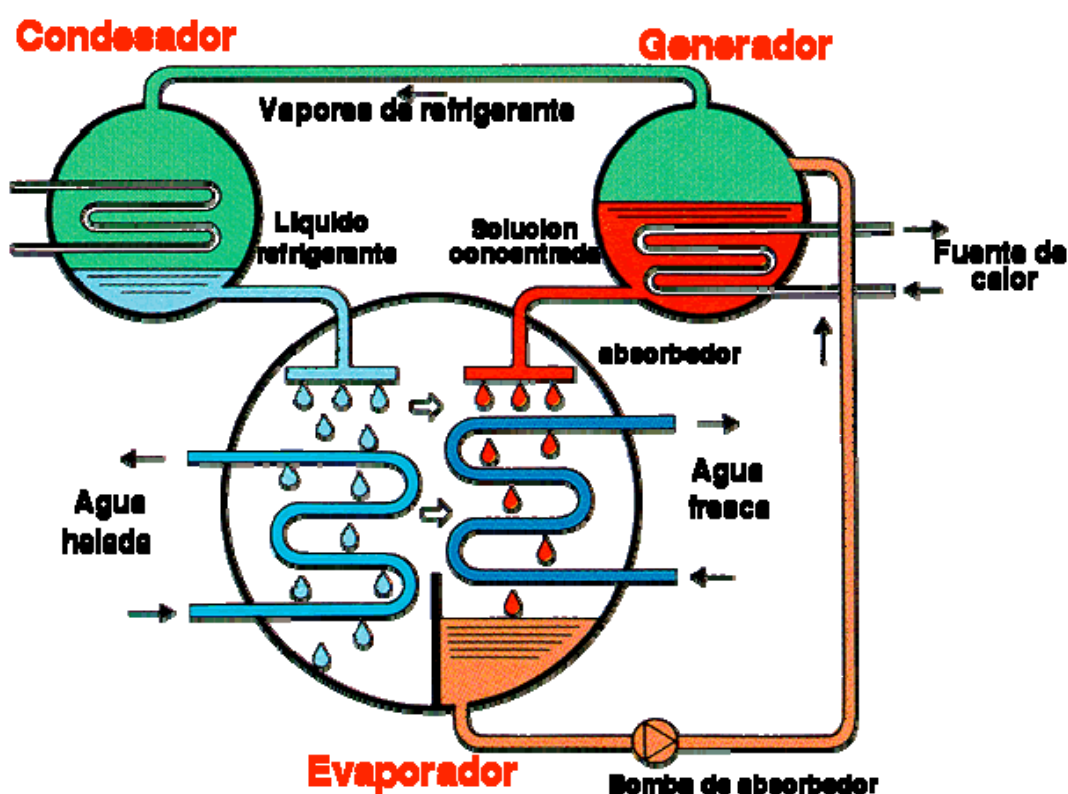
Un conducto que transporta agua colocado en esa zona proporciona agua helada para ser utilizada como elemento enfriador externo de uso múltiple.

Por otro lado, la solución de agua con amoníaco se acumula en el fondo del evaporador y es bombeada de nuevo al generador. Un calentador externo suministra el calor suficiente a la solución para que se produzca una suerte de destilación y se separe el amoníaco, en forma de vapores, regenerándose de nuevo el agua casi pura para volver a utilizar en el proceso.

Los vapores de amoníaco generados en el generador se conducen al condensador, entran en contacto allí con un elemento frío representado por el conducto serpenteante y condensan de nuevo a líquido, para ser inyectado de nuevo al evaporador.

El serpentín del lado derecho, por el que circula agua fresca, sirve para enfriar el absorbedor procedente del generador, donde ha sido calentado para la separación del amoníaco.

Figura 24: Esquema del ciclo de absorción de un refrigerador



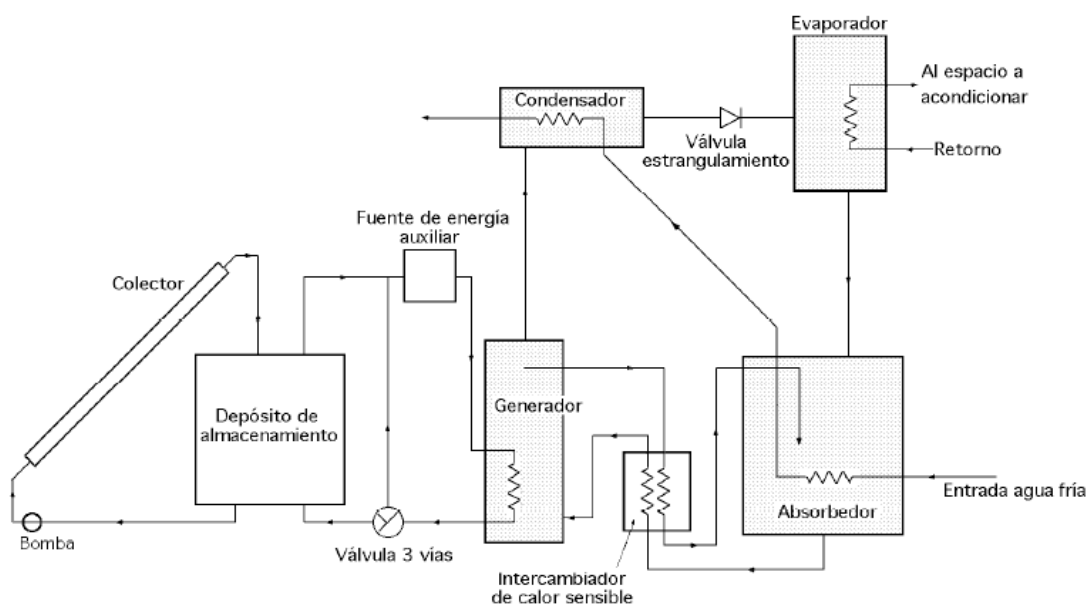
Es importante observar que el proceso se realiza de manera continua en un ciclo cerrado sin pérdidas de absorbedor o refrigerante.

Para el funcionamiento de enfriadores de absorción, por energía solar, se pueden utilizar técnicas como las que se proponen a continuación:

a) **Utilización de enfriadores continuos**, similares en su construcción y funcionamiento a las unidades convencionales de gas o de fluidos condensables (como los usados en el caso del biodigestor). La energía se suministra al generador desde el sistema *colector solar-almacenamiento auxiliar*, siempre que las condiciones dentro del recinto indiquen la necesidad de refrigeración. Debido a las limitaciones de temperatura de los colectores solar-térmicos planos su uso está restringido a sistemas de Bromuro de Litio y agua ($\text{LiBr-H}_2\text{O}$). Estos sistemas requieren de agua para el enfriamiento del absorbedor y del condensador, posiblemente necesitando una torre de enfriamiento. La adaptación solar de unidades enfriadoras de amoníaco y agua operadas con gas o vapor se hace difícil debido a las altas temperaturas requeridas en el generador.

b) **Utilización de enfriadores intermitentes**, El ciclo de absorción intermitente es una alternativa para el de absorción continua. La mayoría de trabajos de investigación con estos ciclos ha sido orientada hacia la conservación de alimentos. En estos ciclos el refrigerante debe ser condensado y almacenado durante la etapa de generación. En la etapa de enfriamiento el refrigerante es evaporado y reabsorbido. Así el almacenamiento de energía se hace mediante la separación del refrigerante pudiendo utilizarse cuando más convenga. No se utilizan enfriadores intermitentes para acondicionamiento de aire, ni tampoco se han hecho grandes estudios que aconsejen su posible aplicación al acondicionamiento de aire por energía solar.

Figura 25: Esquema de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción, funcionando con energía solar



B. Refrigeración por adsorción

Como adsorción se conoce la capacidad que tienen algunas sustancias de adsorber y retener dentro de su estructura morfológica, moléculas de otras sustancias, en una especie de "trampa laberíntica" donde la molécula "visitante" se introduce espontáneamente, pero luego no puede salir y queda

retenida. Generalmente un calentamiento posterior, hace que la molécula retenida se libere y el elemento adsorbedor quede "limpio".

Hay muchas sustancias con esa capacidad, pero las más utilizadas en la práctica son el carbón vegetal activado, las zeolitas, las tierras de diatomeas y otras.

Los procesos de absorción y adsorción son en principio muy similares en cuanto a su resultado neto, la refrigeración por adsorción solo se diferencia de la de absorción en la naturaleza de las sustancias adsorbedoras (en adsorción es un sólido y en absorción un líquido), el refrigerante y sus temperaturas de trabajo, la adsorción trabaja con temperaturas más bajas que el sistema de absorción.

Este método de refrigeración posee mejores cualidades para ser utilizado con fuentes renovables de energía en la producción de frío, dado que necesita una menor temperatura para operar, es decir, la temperatura en la "Fuente de calor" que se muestra en la Figura 24 es menor, y existen prototipos en uso en diferentes países, utilizando la energía solar diurna, para producir agua fría durante la noche.

ANEXO 7: REVISIÓN DE MÉTODOS ALTERNATIVOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.

A. Celdas de Combustible

Las celdas de combustible, también llamadas Celdas de Hidrógeno, funcionan con un principio similar a las de las baterías comunes, ya que mediante una reacción química entre el hidrógeno y el oxígeno, se produce energía eléctrica y agua como residuo.

Existen distintos tipos de celdas de combustible, cuya diferencia radica principalmente al tipo de aplicación y la temperatura en que se utilizan. Una de ellas es la PEMFC, candidata a ser utilizada en los sistemas de transporte debido a su baja temperatura de operación; otra es la SOFC, utilizadas principalmente en operaciones de generación a gran escala; además, está la AFC, que es una de las más antiguas, muy sensible a la contaminación y presenta un alto costo de fabricación.

Las principales complicaciones que presentan las celdas de hidrógeno en la actualidad es la dificultad de almacenar y distribuir masivamente hidrógeno. Hay necesidad de mayor investigación en la materia, ya que el hidrógeno no proporciona lubricidad y es altamente volátil, por lo que los sistemas de manejo de combustible deben endurecerse y sellarse herméticamente. Generar H_2 requiere de mucha energía, y comprimirlo o licuarlo requiere aún más, equivalente al 10 ó 30% del contenido de energía del H_2 y a pesar que presenta la mayor relación energía/peso que cualquier otro combustible, también es el elemento más liviano que existe, lo que lo hace uno de los combustibles menos convenientes y prácticos.

Se estima que el costo por kWh producido por celdas de combustible varía entre US\$3.000 y US\$7.500

B. Batería Inercial o Volantes de Inercia.

Un volante de inercia es, en esencia una batería mecánica, una masa que gira en torno a un eje y almacenan energía en forma de energía cinética, requiriendo de un motor eléctrico para alimentar su giro. Al momento de ser desconectada esta alimentación, utilizan el mismo motor como generador, entregando la energía cinética almacenada en forma de electricidad. En un comienzo, estos equipos fueron contruidos con una pieza metálica, pero actualmente se utilizan polímeros de carbono más densos y resistentes que los discos metálicos utilizados originalmente, aumentando así la eficiencia de estos equipos.

Estos equipos son principalmente utilizados para actuar en situaciones de emergencia como cortes de energía, energizando el sistema el tiempo necesario para que los equipos de reserva alimenten nuevamente el sistema (UPS) o cuando existe gran exigencia por parte de la carga, absorbiendo los peaks de consumo y protegiendo partes electrónicas más sensibles.

La gran desventaja que presentan estos equipos, además de su tamaño, peso y costo, es que no han sido diseñados para mantener una carga por largo tiempo, sino que alimentan al sistema por pequeños intervalos de tiempo mientras se reconecta el sistema de generación.

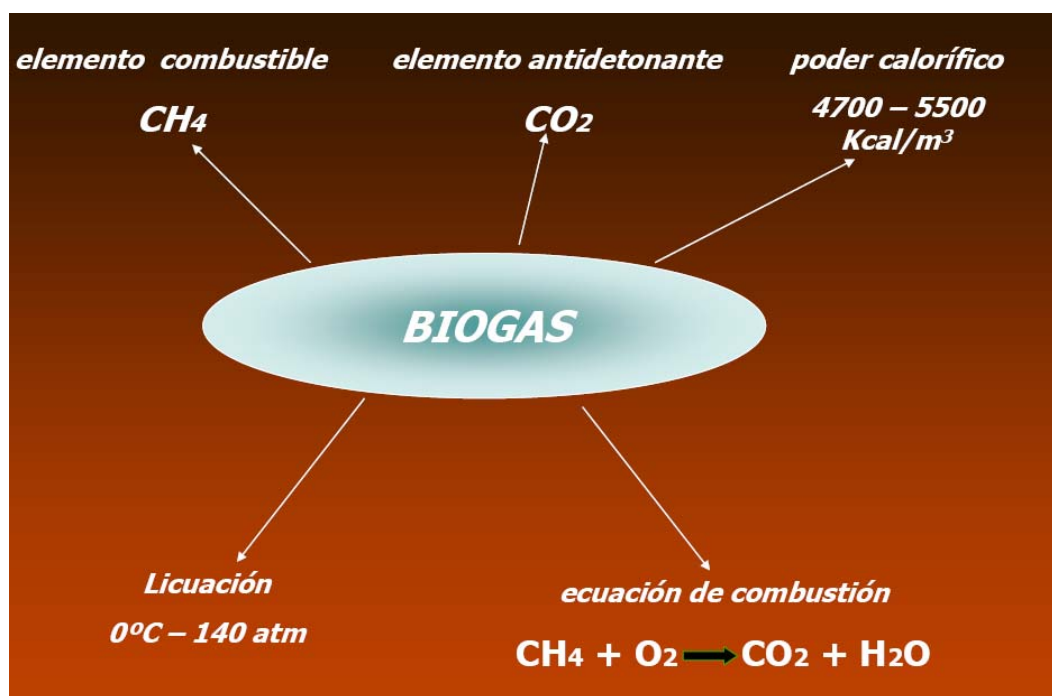
Un sistema de 500 Wh que utilice volantes de inercia tendría un costo aproximado de US\$10.000

ANEXO 8: CARACTERÍSTICAS DE BIODIGESTORES Y REFRIGERADORES A GAS

Los refrigeradores a gas pueden funcionar con varios tipos de gases combustibles, como lo son el gas licuado, butano, propano y en particular el biogás por citar algunos ejemplos. En este estudio el caso de interés es el de utilizar biogás por sus características renovables y amigables con el medio ambiente.

El biogás es una mezcla gaseosa que se produce como resultado de la descomposición de los residuos orgánicos, en ausencia del oxígeno del aire y cuyos principales componentes son el metano (CH₄) y el anhídrido carbónico (CO₂).

Figura 26: Características del biogás



Fuente: Finger y Goudie, 1984.

En la naturaleza se encuentra una gran variedad de residuos orgánicos a partir de los cuales se puede obtener biogás y la composición de éste dependerá del tipo de residuo utilizado y de las condiciones en que se procesa, lo que se ve reflejado en su poder calorífico, el cual oscila entre 4.700 a 5.500 kcal/m³ según sea la composición.

Tabla 69: Consumo de biogás para algunas actividades

Artefacto	Consumo de gas
Cocina	0,20 – 0,45 m³/h
Lámpara	0,07 – 0,17 m³/h
Refrigerador tamaño medio	2,00 – 2,20 m³/h
Motor de cuatro tiempos	0,45 – 0,55 m³/HP/h
Campana calefactor	0,16 – 0,23 m³/h
Horno de asar	0,42 – 0,44 m³/h
Electricidad (1 Kwh)	0,62 m³/h
Ducha a gas	0,80 m³/h
Hervir agua a 100°C	0,08 m³/l

Fuente: Datos obtenidos de varias fuentes

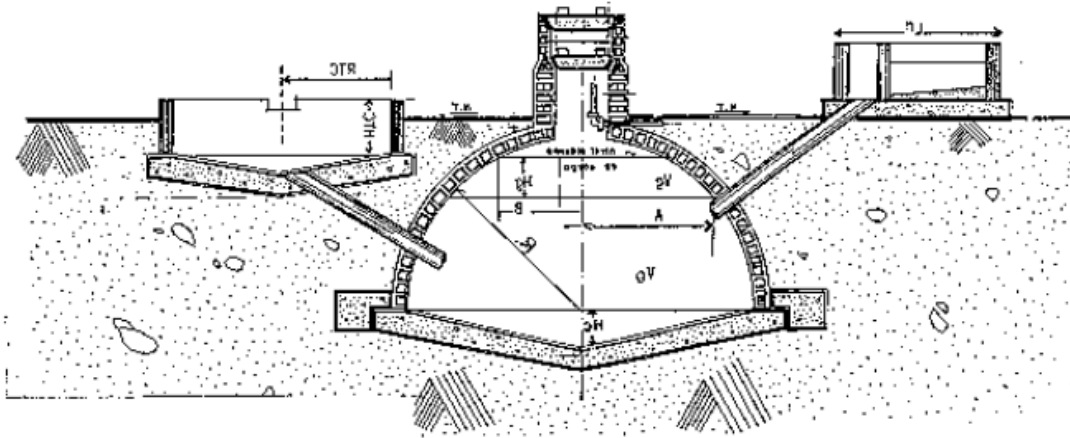
En las zonas rurales del país, es común la presencia de animales como vacas, cerdos, pollos, caballos y otros, de los cuales se pueden aprovechar sus excretas además de los restos orgánicos de los cultivos vegetales para la obtención de biogás. Estos residuos orgánicos mezclados con agua se introducen periódicamente en un depósito hermético llamado **digestor o biodigestor**, los cuales se descomponen por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tipos de Biodigestores

En términos de temporalidad de la carga, el diseño de biodigestores puede adoptar 2 rumbos: los continuos, aquéllos en los cuales se realizan cargas diarias, y los discontinuos, los que se cargan una vez, se deja fermentar la materia orgánica y finalmente se limpian, luego se repite el ciclo nuevamente. Estos últimos resultan interesantes de usar en zonas áridas, donde se tiene habitualmente una baja disponibilidad de materias primas agropecuarias biodegradables debido a las limitaciones de agua que presentan estas zonas. Este tipo de biodigestor permite acumular y procesar materiales con una alta concentración de sólidos totales, del orden del 50%.

En lo que a términos constructivos respecta, uno de los sistemas de biodigestor más difundido es el digestor circular fabricado de ladrillo o mampostería en cemento, con un domo fijo y sin partes metálicas, a excepción de un pequeño tramo o tubo de acero para entregar el gas. (Figura 27). Se requiere un nivel relativamente alto de conocimientos técnicos para la construcción de este tipo de biodigestor. En la práctica, parece ser que muchos de estos digestores no son completamente herméticos y la fuga del biogás es un problema común. Este tipo de biodigestores son los más utilizados en China y se les conoce como los biodigestores chinos.

Figura 27: Digestor de domo fijo usado en China

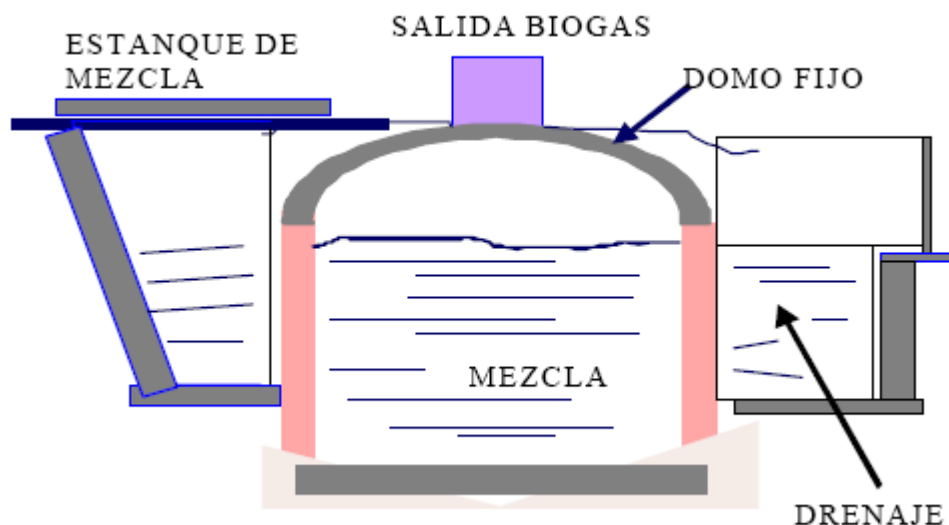


Es común en las zonas de China donde se utilizan este tipo de biodigestores, que la letrina y la colección de residuos del ganado alimenten por gravedad el reactor de biogás. Así se reduce el contacto humano con el residuo y la labor asociada con el llenado de la unidad. Frecuentemente el reactor está localizado bajo el piso del lugar donde permanecen los animales. El resultado inmediato de la aplicación de la tecnología del biogás en esta zona es el incremento en las condiciones de saneamiento. Las tasas de producción de gas son del 10 al 20% del volumen del digestor por día.

Por otra parte, en India, existe otro modelo llamado el digestor KVIC, en honor a la Khadi an Village Industries Commision la cual promueve su implementación. El tanque de este modelo corresponde a un cilindro de concreto parcialmente bajo tierra. Tiene una altura 2,5 a 4 veces mayor que su diámetro. La tasa de producción de gas lograda con este diseño es del 20 al 30% del volumen del digestor por día. Se coloca un domo invertido en acero sobre la mezcla del digestor para recoger el gas producido. En la medida en que se acumula el gas, el tanque de acumulación sube. La capacidad recomendada del tanque de almacenamiento es del 50 al 60% de la producción diaria de gas.

Otro modelo desarrollado en India, conocido como digestor Janata, es similar al anterior pero con una tapa fija en forma de domo construido sobre el digestor que sirve para el almacenamiento del gas (Figura 28). Su diseño sencillo y cual puede ser construido sin la necesidad de un domo de acero, lo que hace que ésta sea una alternativa atractiva.

Figura 28: Digestor Janata con domo fijo

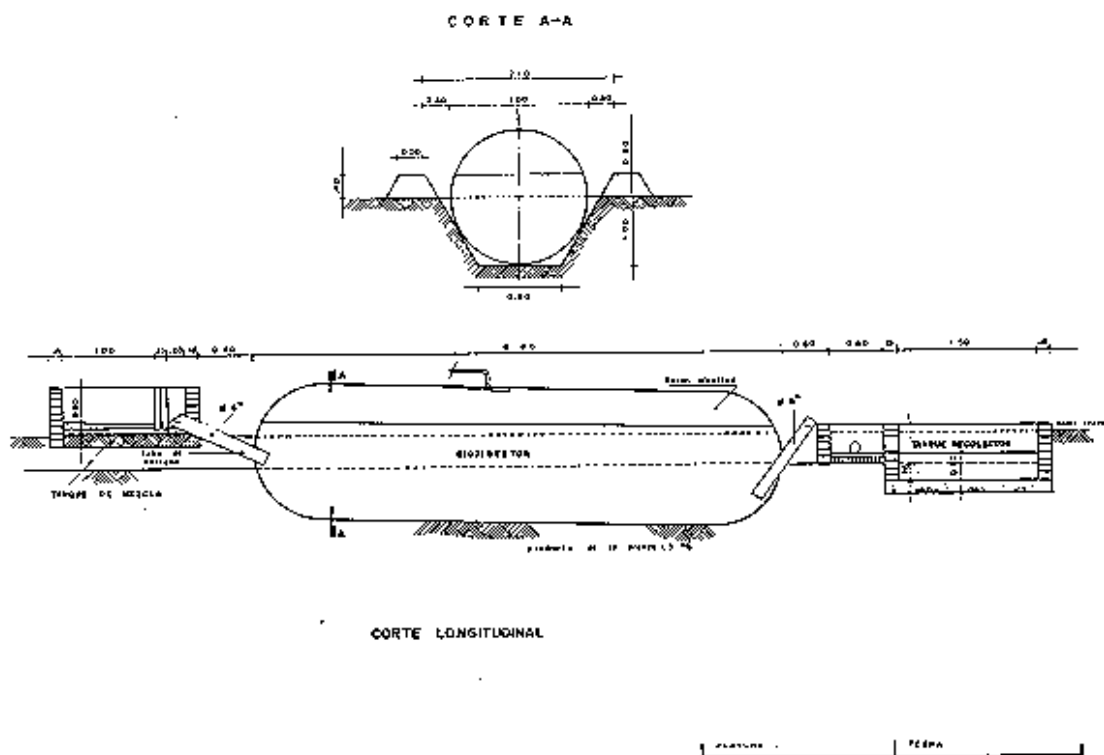


En Pakistán, se ha desarrollado una planta de producción de biogás la cual tiene un sello externo de agua alrededor de la campana colectora de gas para eliminar los malos olores, y para reducir la acción corrosiva del ácido sulfhídrico contenido en el biogás. Este diseño reduce las pérdidas de gas y los costos de mantenimiento, pero su construcción es relativamente costosa.

Uno de los diseños más recientes, corresponde al uso de digestores tubulares fabricados en polietileno, los cuales permiten abaratar costos, además de mejorar considerablemente la eficiencia. Estas unidades, las cuales varían en volumen de 100 a 400 m³, son fáciles de transportar, sencillas de instalar y baratas de construir (ver Figura 29).

En Vietnam y las Filipinas, los biodigestores plásticos (de bolsa flexible) están siendo usados en combinación con la producción de animales en espacio confinado. En Colombia el costo aproximado para la instalación de un biodigestor plástico de 10 m³ es de USD 275. Estos costos incluyen excavación, materiales, mano de obra y asistencia técnica.

Figura 29: Digestor tubular de polietileno



En resumen, considerando que para el caso del biodigestor "chino" las tasas de producción de gas son del 10 al 20% del volumen del digestor por día y que para el "indio" las tasas van entre el 20% y el 30%, se presenta la tabla siguiente, donde se muestra el tamaño estimado del biodigestor para distintos requerimientos diarios de gas.

Tabla 70: Tamaño requerido de un biodigestor según los requerimientos de gas

GLP necesario por día [gramos]	Biogas necesario por día [m³]	Tamaño Biodigestor [m³]			
		Chino		Indio	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
250	0,48	4,8	2,4	2,4	1,6
350	0,67	6,7	3,4	3,4	2,2
450	0,87	8,7	4,3	4,3	2,9
550	1,06	10,6	5,3	5,3	3,5
650	1,25	12,5	6,3	6,3	4,2
750	1,44	14,4	7,2	7,2	4,8
850	1,63	16,3	8,2	8,2	5,4
950	1,83	18,3	9,1	9,1	6,1
1.050	2,02	20,2	10,1	10,1	6,7

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9: FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA ALIMENTADO POR UN GENERADOR ELÉCTRICO

Un sistema de refrigeración en base a un generador eléctrico de combustión, está constituido por un grupo de componentes, los cuales pueden ser adquiridos de forma separada o como un sistema completo.

Este sistema requerirá un conjunto de componentes, entre los que se pueden identificar los generadores de energía, cargadores de baterías, almacenadores de energía, convertidores de energía y finalmente los consumos. Si bien existen muchos sistemas generadores que presentan la posibilidad de cargar un sistema de baterías en forma directa a través de generación DC, su potencia es escasamente comparable con la alcanzada por sus salidas en AC, por lo que no será considerada tal opción.

Generador de Energía: consta, normalmente, de dos partes: un motor y un generador. El primero utiliza algún tipo de combustible (petróleo, gasolina, gas, etc.) para generar movimiento, el cual es utilizado por el generador para transformar este movimiento en energía eléctrica.

Cargador de Baterías: Este dispositivo recoge la energía entregada por el generador, la estabiliza y transforma para que sea utilizada en la carga (y recarga) de las baterías, protegiéndolas, además, de una sobrecarga.

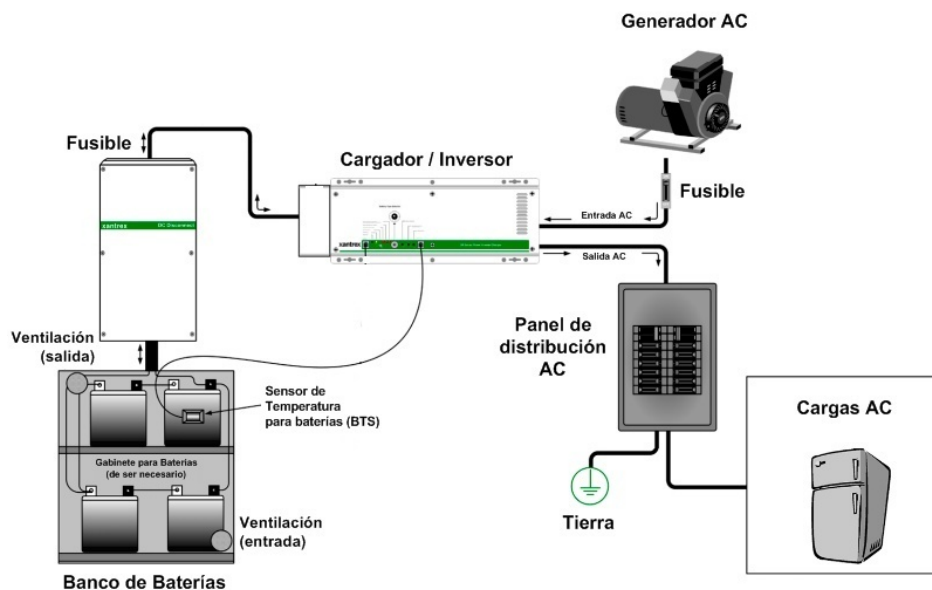
Almacenadores de Energía: las baterías utilizadas por el sistema serán consideradas "Almacenadores de Energía". De la cantidad que se considere, dependerá la energía disponible para ser utilizada además de la cantidad de días de respaldo del sistema.

Convertidores de Energía (Inversor): este dispositivo permite que la energía almacenada en las baterías (corriente continua), pueda ser utilizada en dispositivos electrónicos, que en su gran mayoría requieren corriente alterna.

En la Figura 30⁷⁸ se puede observar la instalación típica de un sistema alimentado por un generador AC. En este caso específico, las funciones de Cargador de Baterías y Conversor de Energía (Inversor) están unificadas en un único equipo. Este equipo energiza un panel (Panel de distribución AC), donde se conectarán las cargas del sistema, que en este caso corresponden al equipo de refrigeración.

⁷⁸ Información extraída desde el Manual del equipo Xantrex DR1512E (Inversor/Cargador), desde el sitio http://www.xantrex.com/support/web/type/3/docldoc_type.asp

Figura 30: Esquema de conexión de un sistema alimentado por un generador tradicional



A. Consideraciones a tomar en cuenta al utilizar equipos de generación.

Aparte de las necesidades propias de cada uno de los componentes del sistema, un generador eléctrico necesita de cierta mantención, la que incluye a grandes rasgos⁷⁹:

- Mantención general cada 300 horas o un año de uso. Ésta consiste en la revisión del filtro de combustible, reemplazo de bujía, regulación luz de válvulas. Costo \$20.000.- en caso de no tener que hacer reparaciones o reemplazos mayores.
- Recambio de aceite cada 80 horas o 6 meses de uso (20 horas si es el primer cambio). Costo \$2.500.- (Tipo 20W50 - 1/4 de galón - 950 cc).
- Revisión del filtro de aire y del nivel de aceite de motor cada vez que se utilice el generador.
- Limpiar el filtro de aire cada 50 horas o 3 meses de uso. Este filtro es similar a una esponja, el cual puede ser limpiado con agua fácilmente. En caso de que exista necesidad de reemplazar el filtro de aire, su costo es de \$4.200.-
- Comprobar el estado de la línea de combustible cada dos años y reemplazar de ser necesario.
- Será necesaria la modificación del equipo de generación en caso de que se trabaje por sobre los 1.500 metros sobre el nivel del mar. Este trabajo tiene un costo de 18.000 + IVA.

⁷⁹ Información de precios y servicios recibida de Baper Servicio Ltda. (www.baper.net), Concesionario Integral de Honda Motor de Chile, y de Enzo Cortéz C, instalador autorizado por Baper Ltda. para proyectos de electrificación con generadores Honda (contacto: enzocortezc@gmail.com - fono: 9-3314596). Fecha de referencia 22 de Octubre de 2008.

De acuerdo a la información recibida, sería conveniente capacitar a alguno de los usuarios a realizar las mantenciones menores (cada 6 meses) que incluyan el cambio de bujías, aceites, filtros y reparaciones menores, ya que presentan escasa complejidad.

B. Diseño de un sistema doméstico para un refrigerador convencional (250 litros)

Debido a que el uso de un generador reduce la dependencia de factores medioambientales en la recarga de baterías, se redujo el tiempo de respaldo a 2 días. En este caso se consideraron los siguientes componentes⁸⁰:

Generador Eléctrico: El modelo EP2500C de Honda presenta una autonomía de 2,8 horas con un estanque de combustible de 3,7 litros. Este puede ser utilizado con gasolina de 93, 95 y 97 octanos sin plomo. Este generador es capaz de entregar 2 kWh, por lo tanto, sería capaz de cargar el banco de baterías en alrededor de 1 y 2 horas, dependiendo del nivel de carga que éstas presenten en el momento de ser recargadas. Este generador tiene un costo de \$430.000.

Se recomienda la utilización de un cobertizo o bodega, debidamente ventilado, que pueda albergar al generador, lo que permite extender la vida útil de los filtros que éste usa.

Baterías: se considera una alternativa distinta a los casos eólicos y fotovoltaicos, esto debido al diseño mismo del sistema:

Tabla 71: Características de las baterías

	Modelo batería	Voltaje [V]	Corriente [Ah]	Dimensiones Largo x ancho x alto [cm]	Peso [kg]	Precio unitario [\$]
Alternativa	Trojan T105	6	225	26,4 x 18,1 x 26,7	28	128.000

Fuente: Datasheet de Baterías en página oficial de Trojan

Considerando la magnitud del consumo del refrigerador escogido, para obtener 2 días de respaldo, se requerirán 4 baterías.

Se recomienda la utilización de un cobertizo o lugar protegido para las baterías para evitar su envejecimiento prematuro.

Inversor y cargador de baterías: Dada la potencia del refrigerador, es adecuado utilizar un Inversor Xantrex DR1512. Este inversor es, además, cargador de baterías, función clave para evitar la sobrecarga y posibles daños en los almacenadores de energía. Este equipo tiene, a la fecha de realización de este estudio, un costo de \$779.000.

Considerando los equipos antes mencionados, se puede formar un presupuesto estimativo del sistema alimentado por un generador eléctrico.

⁸⁰ Todos los precios de esta alternativa fueron entregados por don Enzo Cortéz C, quien presentó cotización por el sistema completo además de los costos de instalación.

Tabla 72: Costo del sistema con generador eléctrico para un refrigerador de 250 litros

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Refrigerador Mademsa Celsius 350 ⁸¹	\$159.990	\$159.990
1	Generador 2,2 kw Honda EP2500	\$ 430.000	\$ 430.000
4	Batería Baterías Trojan T105 ciclo prof 6v 225 ah	\$ 128.000	\$ 512.000
1	Inversor Xantrex DR1512	\$ 779.000	\$ 779.000
-	Instalación y otros ⁸²	\$238.000	\$238.000
		Total(*)	\$2.118.990

Fuente: Elaboración propia, en base a cotizaciones en Falabella y por don Enzo Cortez, instalador autorizado de Heliplast y Baper
(*): Los precios no incluyen IVA

C. Diseño de un sistema doméstico para un frigobar (130 litros)

Utilizando la misma configuración de equipos que para el sistema doméstico de un refrigerador, la única alteración que presentará este sistema es la cantidad de días de respaldo que presentará. Dado que el consumo de un frigobar está estimado en 7,56 KWh/mes, se puede concluir que un sistema con los mismos componentes alcanzará casi el triple de días de respaldo que en el caso de un refrigerador convencional. De lo anterior, se puede concluir que, siendo pesimistas, este sistema presentará 5 días de respaldo.

Tabla 73: Costo del sistema con generador eléctrico para un frigobar

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Frigobar LG GC 131 ⁸³	\$99.990	\$99.990
1	Generador 2,2 kw Honda EP2500	\$ 430.000	\$ 430.000
4	Batería Baterías Trojan T105 ciclo prof 6v 225 ah	\$ 128.000	\$ 512.000
1	Inversor Xantrex DR1512	\$ 779.000	\$ 779.000
-	Instalación y otros ⁸²	\$238.000	\$238.000
		Total(*)	\$2.058.990

Fuente: Elaboración propia, en base a cotizaciones en Falabella y por don Enzo Cortez, instalador autorizado de Heliplast y Baper
(*): Los precios no incluyen IVA

⁸¹ Precio consultado en la página web de Falabella el 5 de Septiembre de 2008

⁸² La “instalación y otros” incluye: Traslado e instalación de todos los equipos descritos en el presupuesto, instrucción para uso del equipo en terreno, protecciones y cables para conexión de equipos, además de la garantía de los equipos por un año. No Incluye: bodegas, gabinetes o estructuras para albergar equipos, redes de distribución de electricidad en interiores. Precios Referenciales para Región Metropolitana.

⁸³ Precio consultado en la página web de Falabella el 14 de Octubre de 2008

D. Diseño de un sistema de refrigeración residencial de corriente continua

Los equipos de corriente continua presentan el beneficio de no tener un alto consumo en las partidas, lo que lleva a una disminución en la cantidad de baterías necesarias al momento de dimensionar el sistema.

El generador considerado para el sistema, sería capaz de cargar completamente las baterías en un tiempo cercano a las 2,7 horas. Debido al escaso consumo que presenta este equipo de refrigeración, se pueden estimar 9 días de respaldo al utilizar este sistema.

Tabla 74: Costo del sistema con generador eléctrico para un refrigerador que funciona con corriente continua

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Refrigerador Solisto 271DCR225	\$ 1.150.000	\$ 1.150.000
1	Generador 2,2 kw Honda EP2500	\$ 430.000	\$ 430.000
2	Baterías Trojan T105 ciclo prof 6v 225 ah	\$ 128.000	\$ 256.000
1	Cargador de Baterías Xantrex Truecharge 40i	\$ 466.553	\$ 466.553
-	Instalación y materiales ⁸⁴	\$ 238.000	\$ 238.000
		Total(*)	\$ 2.540.553

Fuente: Elaboración propia, en base a cotizaciones en Solisto y por don Enzo Cortez, instalador autorizado de Heliplast y Baper

(*): Los precios no incluyen IVA

E. Diseño de un sistema comercial de fabricación de hielo

Dependiendo de la actividad productiva que se desarrolle en la zona, muchas veces el control de temperatura del recinto no será suficiente y será necesaria la utilización de hielo para mantener los alimentos en buen estado, ya sea durante el proceso de conservación o durante el proceso mismo de faena.

Se analizan dos formas para generar hielo, una, a través de un equipo especializado y otra, utilizando un equipo convencional de congelación.

1. Utilización de una máquina productora de hielo en escamas

La máquina Brema G250 es capaz de producir 250 kg de hielo diarios, con un consumo aproximado de 79Wh por Kilogramo⁸⁵ de hielo producido. De aquí se puede concluir que la

⁸⁴ La “instalación y otros” incluye: Traslado e instalación de todos los equipos descritos en el presupuesto, instrucción para uso del equipo en terreno, protecciones y cables para conexión de equipos, además de la garantía de los equipos por un año. No Incluye: bodegas, gabinetes o estructuras para albergar equipos, redes de distribución de electricidad en interiores. Precios Referenciales para Región Metropolitana.

⁸⁵ Dado que la información del consumo eléctrico por kilogramo de hielo producido no está disponible para esta máquina, se considera la información de otra productora de hielo, aumentando en un 10% el

cantidad de días de respaldo que presente el sistema dependerá directamente de la producción de hielo.

Generador Eléctrico: El modelo EP5000CX de Honda presenta una autonomía de 10 horas con un estanque de combustible de 25 litros. Este puede ser utilizado con gasolina de 93, 95 y 97 octanos sin plomo. Este generador es capaz de entregar 4 kWh, por lo tanto, sería capaz de cargar el banco de baterías en menos de 5 horas, asumiendo una carga completa, o dependiendo del nivel de carga que éstas presenten en el momento de ser recargadas. Este generador tiene un costo de \$825.000.

Se recomienda la utilización de un cobertizo o bodega, debidamente ventilado, que pueda albergar al generador, lo que permite extender la vida útil de los filtros que éste usa.

Inversor y cargador de baterías: El Inversor/Cargador Quattro de 5KVA de Victron Energy es capaz de soportar cargas de hasta 4 kW, además, es posible la conexión de hasta seis de estos equipos en paralelo, multiplicando su potencia final por la cantidad de equipos. Este inversor es, además, cargador de baterías, función clave para evitar la sobrecarga y posibles daños en los almacenadores de energía. Este equipo presenta un costo de USD\$4.390.

Tabla 75: Costo del sistema con generador eléctrico para una fabricadora de hielo en escamas

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Fabrica de hielo en escamas Brema modelo G250	\$ 3.528.000	\$ 3.528.000
1	Generador Honda EP5000CX	\$ 825.000	\$ 825.000
6	Batería Deka S8D SLD G LTP	\$ 345.000	\$ 2.070.000
1	Inversor Quattro 5KVA	USD\$4.390 (*)	\$2.771.539
-	Instalación y materiales ⁸⁶	\$ 238.000	\$ 238.000
	Total(**)		\$ 9.432.539

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones de Famadich, Solener y don Enzo Cortez, instalador autorizado de Heliplast y Baper

(*): El valor del dólar considerado es \$631,33, del día 17 de Octubre de 2008

(**): Los precios no incluyen IVA

consumo, así, si la máquina original (New Flaked Ice Machines with AutoSentry: FME1204) tiene un consumo de 0,072 kWh/kg de hielo, el consumo considerado para realizar los cálculos es de 0,079 kWh/kg.

⁸⁶ La “instalación y otros” incluye: Traslado e instalación de todos los equipos descritos en el presupuesto, instrucción para uso del equipo en terreno, protecciones y cables para conexión de equipos, además de la garantía de los equipos por un año. No Incluye: bodegas, gabinetes o estructuras para albergar equipos, redes de distribución de electricidad en interiores. Precios Referenciales para Región Metropolitana.

2. Utilización de un frigorífico en el cual de congele líquido (cubos de hielo)

Debido al alto consumo que presenta una máquina generadora de hielo en escamas, es necesario también considerar la utilización de un equipo de refrigeración convencional que presente la posibilidad de generar hielo en cubeteras.

Para esto, se consideró un equipo capaz de cumplir con las condiciones de congelador y que funciona directamente con corriente continua, lo que eliminará la necesidad de contar con un inversor de voltaje.

Considerando los equipos antes mencionados, se puede formar un presupuesto estimativo del sistema alimentado por un generador eléctrico para un sistema que cuente con 8 días de respaldo.

Tabla 76: Costo del sistema con generador eléctrico para un freezer que funciona con corriente continua

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Freezer Solisto 271DCF225	\$ 1.150.000	\$ 1.150.000
1	Generador 2,2 kw Honda EP2500	\$ 430.000	\$ 430.000
4	Baterías Trojan T105 ciclo prof 6v 225 ah	\$ 128.000	\$ 512.000
1	Cargador de Baterías Xantrex Truecharge 40i	\$ 466.553	\$ 466.553
-	Instalación y materiales ⁸⁷	\$ 238.000	\$ 238.000
		Total(*)	\$ 2.796.553

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Solisto, y don Enzo Cortez, instalador autorizado de Heliplast y Baper
(*): Los precios no incluyen IVA

F. Diseño de una bodega refrigerada para fines productivos

Considerando la cotización de FROSTCHILE, que fue hecha en base a los requerimientos de una cámara de mantención (0°C), con una capacidad de almacenamiento de 1.000 kg.

Si bien existe la posibilidad de energizar el compresor de la cámara refrigerada directamente con el generador, con el objetivo de reducir los costos en combustible y extender la vida útil del generador, se utiliza un sistema que cuente con baterías, las que entregarán una cantidad de tiempo de respaldo, además de proteger al generador de las elevadas demandas de potencia que presenta el compresor en las partidas. Y permitirán que éste no deba ser sobredimensionado (considerar que las partidas estos artefactos demandan 5 veces la potencia nominal).

⁸⁷ La “instalación y otros” incluye: Traslado e instalación de todos los equipos descritos en el presupuesto, instrucción para uso del equipo en terreno, protecciones y cables para conexión de equipos, además de la garantía de los equipos por un año. No Incluye: bodegas, gabinetes o estructuras para albergar equipos, redes de distribución de electricidad en interiores. Precios Referenciales para Región Metropolitana.

Tabla 77: Costo del sistema con generador eléctrico para una bodega refrigerada

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Total
1	Generador Honda EP5000CX	\$825.000	\$825.000
1	Inversor Quattro 5KVA	USD \$4390	\$2.771.539
23	Batería Deko S8D SLD G LTP	\$345.000	\$7.935.000
1	Bodega Refrigerada	\$3.820.000	\$3.820.000
-	Costos de Instalación	\$500.000	\$500.000
		Total(*)	\$15.851.539

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en Baper, Solener, Frostchile y Heliplast
 (*): Los precios no incluyen IVA