



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

EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPONENTES DE COLECTORES SOLARES FRESNEL EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MÉCANICO

ALDO ANDRÉS SCHUSTER WHITE

PROFESOR GUÍA:

JAMES GRIFFIN COLE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ROBERTO ROMÁN LATORRE

LEONEL NUÑEZ LAZO

Este trabajo ha sido financiado por Fundación Fraunhofer Chile

SANTIAGO DE CHILE

2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE: Ingeniero Civil Mecánico
POR: Aldo Andrés Schuster White
FECHA: 5 de Abril 2015
PROFESOR GUIA: James Griffin Cole

EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPONENTES DE COLECTORES SOLARES FRESNEL EN CHILE

Chile es uno de los países con mayor costo a la energía pese a que el país cuenta con excelentes recursos naturales, recursos que podría aprovechar al hacer uso de tecnologías energéticas renovables no-convencionales, en particular destaca el recurso solar en la región. Un desarrollo de esta tecnología podría reducir las elevadas tarifas a la energía.

El presente proyecto tiene como objetivo principal determinar la factibilidad de incluir productos nacionales para la confección de Colectores Lineales Fresnel. Este equipo es uno de los diseños de mayor facilidad para ser desarrollado dado que utiliza reflectores primarios planos, y no espejos curvos como hace la tecnología de cilindros parabólicos.

El presente trabajo se ha dividido en dos secciones. Por un lado se estudia el mercado de los componentes del colector Fresnel y por otro el de los componentes asociados los sistemas que complementan la operación del equipo. Para lograr el objetivo general se debe primero identificar los procesos de manufactura y requerimientos de los componentes considerados. Luego se debe estudiar la industria nacional, a modo de encontrar empresas que cuenten con la capacidad para trabajar los procesos de manufactura correspondientes. Finalmente se utiliza el software SAM para estimar cuanta energía se podría producir con los equipos propuestos.

Se ha encontrado que Chile cuenta con una industria metalmecánica y constructora bien establecida, capaz de suplir las necesidades estructurales del equipo. Adicionalmente el país cuenta con capacidad para producir fluidos de transferencia y almacenamiento térmico. Se observó la potencial sinergia entre empresas que fabrican luminarias con la confección de reflectores secundarios. También se cuenta con una industria capacitada para confeccionar equipos de transferencia de calor, bombas y válvulas. La nación incluso cuenta con instalaciones capacitadas para fabricar espejos de vidrio, por rocío de nitrato de plata, y una compañía que adiciona material de absorción selectiva a cañerías de cobre.

Se observó que la utilización de productos nacionales permite producir en torno a $3,8 \text{ MW}_t\text{-h}$ al utilizar $10,000 \text{ m}^2$ de espejos, con una inversión de 4,2 MMUSD. Por otro lado al importar los reflectores, absorbedor, bombas y válvulas de mayor calidad se puede aprovechar hasta $4,8 \text{ MW}_t\text{-h}$, usando la misma superficie y considerando una inversión tan solo 13% mayor.

ABSTRACT ON THE PROJECT TO APPLY FOR
A TITLE IN: Mechanical Engineer
BY: Aldo Andrés Schuster White
DATE: April the 5th 2015
GUIDING PROFESSOR: James Griffin Cole

TECHNICAL MECHANICAL EVALUATION ON PRODUCING LINEAR FRESNEL COLLECTOR COMPONENTS IN CHILE

Chile has one of the highest energy costs in the world. Yet the country has at its disposal remarkable natural resources to make use of renewable non-conventional technologies, in particular solar energy. An adequate development of this technology could help reduce expensive energy bills.

The main objective of this report was to determine the feasibility of using nationally produced components for Linear Fresnel Solar Collectors. This equipment is known for its easier development due to the use of flat primary reflectors, and not curved mirrors as the ones used in Parabolic Trough Collectors.

The project has been divided into two sections. The first part studies the domestic market involving the collector components, while the second part studies the equipment required to ensure the appropriate functionality of the collector. To achieve the objective, it was first necessary to understand the main manufacturing procedures and the properties of each component. Following this, Chilean industries were investigated in search of companies with the necessary characteristics. Finally, NREL's SAM software was used to estimate how much energy could be made available for industrial use.

A sound structural steel industry was found, ensuring the national capacity to manufacture the collector's frame, as was also the country's ability to produce heat transfer and storage fluids. Cooperation with lamp manufacturers provides the possibility for secondary reflector production. The country also has a few heat exchanger, pump and valve developers. There is also a float glass and mirror production line and a company that welds selective absorber materials to heat pipes.

By using national products a 3.8 Thermal MWh production was estimated on a 10,000 m² mirror surface with an investment of 4.2 MUSD. However, by importing higher quality reflectors, heat pipes, pumps and valves, 4.8 thermal MWh could be made available on an equal amount of reflector surface and would require only a 13% higher investment.

Agradecimiento

Debo agradecer a la Fundación Fraunhofer por haber propuesto tema para el presente proyecto de título, por la orientación y su apoyo durante el desarrollo del mismo. Con una especial consideración y aprecio por Felipe Cuevas, quien ha impulsado, aclarado inquietudes, y en general prestado una profunda atención al desarrollo del presente trabajo. Espero que Felipe y la fundación puedan hacer buen uso de la información entregada en este documento, siéndoles útil para los proyectos que consideren apropiados.

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
2.	Objetivos y Alcances.....	1
2.1.	Objetivo General	1
2.2.	Objetivos Específicos.....	2
2.3.	Alcance.....	2
3.	Contexto y Antecedentes.....	2
3.1.	Situación Energética Nacional	2
3.2.	Demanda Eléctrica	4
3.3.	Demanda Térmica	6
3.4.	Recurso Solar	8
3.4.1.	Naturaleza del Recurso Solar	8
3.4.2.	Recurso Solar en Chile.....	11
3.5.	Conversión de Energía Solar.....	12
3.5.1.	Colectores sin Concentración Solar	16
3.5.2.	Colectores con Concentración Solar	17
3.5.2.1.	Concentración Solar Puntual.....	18
3.5.2.2.	Concentración Solar Lineal.....	20
3.6.	Bases de Funcionamiento del Colector	22
3.6.1.	Óptica General.....	22
3.6.2.	Óptica y Diseño de colector Fresnel Lineal	25
3.6.3.	Ajuste Óptico y Modelo Térmico.....	33
4.	Metodología	36
4.1.	Presentación de la Metodología	36
4.2.	Comprensión del Funcionamiento del Colector Fresnel	37

4.3.	Clasificación de Componentes	38
4.4.	Estudio de Procesos de Manufactura e Industria Internacional.....	38
4.5.	Estructura de Negocios de las Principales Industrias Internacionales.....	38
4.6.	Industria Local.....	39
4.7.	Análisis FODA.....	39
4.8.	Propuesta de Medidas.....	40
4.9.	Estudio de Sensibilidad Económica	40
4.9.1.	Breve Descripción del Software de Simulación.....	40
4.9.2.	El Procedimiento de Simulación	41
4.10.	Implementación de Productos Nacionales	42
4.11.	Comentarios:	42
5.	Componentes del Colector Fresnel	43
5.1.	Reflectores.....	43
5.1.1.	Características del Reflector	43
5.1.2.	Propiedades relevantes de reflectores.....	51
5.1.3.	Materiales Utilizados en la Confección del Reflector	52
5.1.4.	Procesos de Manufactura de Reflectores.....	56
5.1.5.	Mercado Internacional.....	67
5.1.6.	Capacidad nacional para Fabricar los Reflectores.....	74
5.1.7.	Análisis FODA y resumen de la sección referente a reflectores	82
5.2.	Absorbedor	84
5.2.1.	Características del Absorbedor.....	84
5.2.2.	Materiales	88
5.2.3.	Procesos de manufactura	91
5.2.4.	Mercado Internacional.....	93
5.2.5.	Industria Nacional	95

5.2.6.	Análisis FODA y resumen de la sección referente a absorbedores	101
5.3.	Estructura	103
5.3.1.	Características de la Estructura	103
5.3.2.	Materiales de la Estructura	103
5.3.3.	Procesos de Manufactura	103
5.3.4.	Industria Internacional.....	104
5.3.5.	Industria nacional	105
5.3.6.	Análisis FODA y resumen de la sección relacionada a la estructura del colector ..	113
6.	Componentes del sistema Fresnel	114
6.1.	Fluido Térmico.....	114
6.1.1.	Caracterización del fluido térmico	114
6.1.2.	Materiales utilizados como Fluidos de Transferencia Térmica.....	115
6.1.3.	Procesos de manufactura	116
6.1.4.	Industria Internacional.....	117
6.1.5.	Industria Nacional	118
6.2.	Medios de almacenamiento térmico y estanques	119
6.2.1.	Características de los medios de almacenamiento térmico y estanques.....	119
6.2.2.	Materiales en los medios de almacenamiento térmico y estanques.....	122
6.2.3.	Procesos de manufactura para estanques.....	125
6.2.4.	Mercado internacional.....	125
6.2.5.	Industria Nacional	126
6.3.	Intercambiadores de Calor	130
6.3.1.	Caracterización y diseño de intercambiadores de Calor.....	130
6.3.2.	Materiales utilizados en la confección de intercambiadores de calor.	132
6.3.3.	Procesos de manufactura	133
6.3.4.	Productores Internacionales de Intercambiadores de Calor	133

6.3.5.	Industria Nacional de Intercambiadores de Calor	134
6.4.	Bombas.....	136
6.4.1.	Caracterización y estándares de Calidad	136
6.4.2.	Industria Internacional.....	137
6.4.3.	Industria Nacional de Bombas	138
6.5.	Válvulas.....	140
6.5.1.	Caracterización de válvulas para control de fluido	140
6.5.2.	Materiales	142
6.5.3.	Proceso de manufactura para válvulas	142
6.5.4.	Mercado Internacional de Válvulas.....	144
6.5.5.	Industria Nacional de Válvulas	147
6.6.	Análisis FODA y resumen de la sección referente a componentes del Sistema Fresnel.	147
7.	Análisis Económico.....	149
7.1.	Modelo de Negocios.....	149
7.2.	Condiciones y costos de la mano de obra en Chile	149
7.3.	Experiencia alrededor del mundo.....	151
7.4.	Análisis FODA	153
7.5.	Situación nacional	154
7.6.	Estudio de adquisición de equipos de Sputtering.....	155
7.6.1.	Consideraciones en el proyecto de adquisición de equipos de Sputtering	155
7.7.	Adquisición de equipo removedor de fierro.....	166
7.7.1.	Consideraciones para el proyecto de adquisición de equipo removedor de fierro. .	166
7.7.2.	Resultados adquisición equipo removedor de fierro	169
7.8.	Costos manufactura del colector	173
8.	Conclusiones	189
8.1.	Recomendaciones.....	193

Bibliografía	195
Anexos.....	205
Anexo A: Observaciones de reflectores	205
Procedimiento de deposición de superficie reflectante en Paranal	205
Anexo B: Observaciones a la estructura.....	207
Condiciones de agresividad en ambiental a lo largo del país.....	207
Anexo C: Características de los fluidos Térmicos.	208
Anexo D: Flujos de Caja	210
Anexo D-1: Modelos de flujo de caja para adquisición equipo de sputtering.....	210
Anexo D-2: Flujo de caja de adquisición equipo removedor de fierro en arena	212
Anexo E: Planos y códigos utilizados en el diseño base evaluado.....	213
Anexo F: Programación	218

Índice de Tablas

Tablas de: Contexto y Antecedentes

Tabla 3. 1. Porcentaje de energías primarias producidas, importadas, exportadas y su relación respecto al consumo general de energías primarias.....	3
Tabla 3. 2. Porcentaje de energías primarias producidas, importadas y exportadas y su relación respecto al consumo general de energías secundarias	3
Tabla 3. 3. Proyectos solares CSP en Chile	7
Tabla 3. 4. Estimación de demanda y superficie potencial por región.....	7
Tabla 3. 5. Resumen de radiación Global Horizontal en torno a la capital de cada región.....	11
Tabla 3. 6. resumen de resultados obtenidos en cada ubicación.	12
Tabla 3. 7. Tecnologías de conversión térmica y su capacidad de concentración	14
Tabla 3. 8. Aplicaciones para distintas tecnologías solares	15
Tabla 3. 9. Aplicaciones para distintas tecnologías solares, continuación tabla 3.18.	16
Tabla 3. 10. Nomenclatura para identificar los ángulos de incidencia sobre los reflectores.....	27

Tabla 3. 11. Escenarios considerados al estudiar el bloqueo y sombreado entre espejos.	31
---	----

Tablas de: Componentes del Colector Fresnel

Tabla 5. 1. Características de separadores magnéticos mojados	57
Tabla 5. 2. Descripción del proceso de producción por flotación	59
Tabla 5. 3. Recomendaciones de sustratos para películas Solar Mirror Film 1100, de 3M™	61
Tabla 5. 4. Resumen de procesos, logros y fallas para distintos procesos de deposición.	65
Tabla 5. 5. Descripción de algunas cubiertas utilizadas para mejorar la calidad funcional del reflector.....	66
Tabla 5. 6. Proyectos de cuarzo de alta pureza por ubicación y empresa	67
Tabla 5. 7. Transacciones de arena silicatada en Inglaterra.	67
Tabla 5. 8. Principales fabricantes de vidrio por flotación y sus instalaciones.	68
Tabla 5. 9. Productos solares de distintos proveedores de vidrio por flotación	68
Tabla 5. 10. Equipos para doblar vidrio, proveedor Glasstech	69
Tabla 5. 11. Aplicaciones industriales para Sputtering	69
Tabla 5. 12. Aplicaciones industriales para Sputtering. Continuación Tabla 5.11.	70
Tabla 5. 13. Resumen empresas proveedoras de equipo para deposición térmica al vacío.	70
Tabla 5. 14. Resumen proveedores de reflectores a nivel mundial.	71
Tabla 5. 15. Resumen proveedores de reflectores a nivel mundial. Continuación Tabla 5.14.	72
Tabla 5. 16. Reflectores utilizados para CSP y sus características	72
Tabla 5. 17. Reflectores utilizados para CSP y sus características.[80] Continuación Tabla 5.16. ..	73
Tabla 5. 18. Proveedores y descripción de productos para reflectores secundarios.....	73
Tabla 5. 19. Proveedores y descripción de productos para reflectores secundarios. Continuación Tabla 5.18.....	74
Tabla 5. 20. Detalle capacidad productiva en Vidrios Lirquén.....	75

Tabla 5. 21. Propiedades del vidrio fabricado por Vidrios Lirquén en Chile.	76
Tabla 5. 22. Características ópticas y térmicas vidrio Opti float.....	77
Tabla 5. 23. Características ópticas y térmicas vidrio Opti float. Continuación Tabla 5.22. [89]	77
Tabla 5. 24. Características Ópticas y térmicas vidrio Opti float [89]	77
Tabla 5. 25. Capacidades de curvatura encontrada a nivel nacional, por medio de entrevistas telefónicas.	77
Tabla 5. 26. Proceso de deposición de materiales reflectantes establecido en Chile.	78
Tabla 5. 27. Parámetros de aceptación ensayo CASS en espejos	79
Tabla 5. 28. Propiedades del aluminio Almeco S090	81
Tabla 5. 29. Equipos y Procesos destacados en Lámparas Chile	82
Tabla 5. 30. Algunos productos fabricados por Lámparas Chile, con B el largo del módulo.....	82
Tabla 5. 31. FODA confección de espejos en territorio nacional	83
Tabla 5. 32. FODA confección de espejos en territorio nacional. Continuación Tabla 5.31	84
Tabla 5. 33. Estructura numérica para el modelo planteado en la Figura 5.27.	87
Tabla 5. 34. Materiales utilizadas para confeccionar la cañería del absorbedor	89
Tabla 5. 35. Materiales utilizados para recubrir absorbedores.....	90
Tabla 5. 36. Materiales utilizados para recubrir absorbedores. Continuación Tabla 5.35.	91
Tabla 5. 37. Algunos productores de absorbedores encapsulados en cilindros de vidrio al vacío en el mundo	93
Tabla 5. 38. Absorbedores de media temperatura comercialmente disponibles a nivel mundial.....	94
Tabla 5. 39. Absorbedores de alta temperatura comercialmente disponibles a nivel mundial.....	94
Tabla 5. 40. Propiedades de los tubos absorbedores SEIDO 6	95
Tabla 5. 41. Empresas chilenas dedicadas a la implementación y comercialización de colectores solares para baja temperatura.....	95
Tabla 5. 42. Empresas chilenas dedicadas a la implementación y comercialización de colectores solares para baja temperatura. Continuación Tabla 5.41.	96

Tabla 5. 43. Instaladores de material absorbedor solar en Chile	96
Tabla 5. 44. Propiedades de las películas de absorción selectiva Tinox	96
Tabla 5. 45. Propiedades de las películas de absorción selectiva Tinox. Continuación Tabla 5.44..	97
Tabla 5. 46. Propiedades de la pintura Solkote	98
Tabla 5. 47. Detalles para la confección de la Figura 5.32.	99
Tabla 5. 48. FODA, Absorbedor, Reflector Secundario y Casing	102
Tabla 5. 49. FODA, Absorbedor, Reflector Secundario y Casing. Continuación Tabla 5.48.	102
Tabla 5. 50. Industrias relevantes en la confección de estructuras a nivel internacional	104
Tabla 5. 51. Importaciones de acero a Chile, los primeros 3 trimestres 2013.....	107
Tabla 5. 52. Importaciones de acero a Chile, los primeros 3 trimestres 2013. Continuación Tabla 5.51	108
Tabla 5. 53. Detalle de algunas de las maestranzas, presentes en el país, dedicadas al trabajo estructural en acero	108
Tabla 5. 54. Detalle de algunas de las maestranzas, presentes en el país, dedicadas al trabajo en acero. Continuación Tabla 5.53.	109
Tabla 5. 55. Detalle de algunas de las maestranzas, presentes en el país, dedicadas al trabajo en acero. Continuación Tabla 5.54.	110
Tabla 5. 56. Rendimiento en la instalación de estructuras metálicas.	110
Tabla 5. 57. Principales industrias dedicadas a la instalación de proyectos solares a nivel mundial y su asociación con Chile.	111
Tabla 5. 58. Producción acero galvanizado en Latino América.	111
Tabla 5. 59. Producción acero galvanizado en Latino América. Continuación Tabla 5.58	112
Tabla 5. 60. Compañías del grupo Círculo de Galvanizadores Chile	112
Tabla 5. 61. Espesores mínimos de recubrimiento galvanizado de acuerdo a la Norma ASTM 123	113
Tabla 5. 62. FODA para la producción de estructuras en el territorio nacional	114

Tablas de: Componentes del Sistema Fresnel

Tabla 6. 1. Principales proveedores de fluidos térmicos en el mercado internacional.....	117
Tabla 6. 2. Propiedades de algunos fluidos de transferencia.....	118
Tabla 6. 3. Comparación entre sistemas de almacenamiento térmicos Activos (SAT).....	120
Tabla 6. 4. Comparación entre sistemas de almacenamiento térmicos Pasivos (SAT).....	121
Tabla 6. 5. Medios de almacenamiento térmico solidos	122
Tabla 6. 6. Medios de almacenamiento térmico líquidos	123
Tabla 6. 7. Medios de almacenamiento térmico con cambio de fase[125]	123
Tabla 6. 8. Consideraciones para los cimientos de un estanque de almacenamiento a alta temperatura	124
Tabla 6. 9. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos	126
Tabla 6. 10. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos. Continuación tabla 6.9.	127
Tabla 6. 11. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos continuación Tabla 6.10.....	128
Tabla 6. 12. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos continuación Tabla 6.11.....	129
Tabla 6. 13. Coeficientes de transferencia y ensuciamiento típicos para intercambiadores de carcasas.....	131
Tabla 6. 14. Coeficientes de transferencia y ensuciamiento típicos para intercambiadores de carcasas. Continuación Tabla 6.13.	132
Tabla 6. 15. Características intercambiadores de tubos desarrollados por Funke	132
Tabla 6. 16. Materiales de un intercambiador de calor comercial,.....	133
Tabla 6. 17. Productores de intercambiadores de calor a nivel mundial	133
Tabla 6. 18. Productores de intercambiadores de calor a nivel mundial. Continuación Tabla 6.17.	134

Tabla 6. 19. Principales instituciones productoras de intercambiadores de calor en Chile.....	135
Tabla 6. 20. Principales instituciones productoras de intercambiadores de calor en Chile Continuación Tabla 6.19.....	136
Tabla 6. 21. Algunas empresas fabricantes de bombas destacadas por su captación de mercado ..	138
Tabla 6. 22. Proveedores de bombas a nivel nacional.....	139
Tabla 6. 23. Proveedores de bombas a nivel nacional. Continuación Tabla 6.22.	140
Tabla 6. 24. Resumen Caracterización de las válvulas y cuando utilizarlas	142
Tabla 6. 25. Ingresos de las principales firmas en el rubro de control de fluidos.	145
Tabla 6. 26. Ingresos de las principales firmas en el rubro de control de fluidos. Continuación Tabla 6.25.	146
Tabla 6. 27. Grandes Instituciones en el mercado del control de fluidos Internacional.....	146
Tabla 6. 28. Grandes Instituciones en el mercado del control de fluidos Internacional. Continuación Tabla 6.27	147
Tabla 6. 29. Industrias nacionales en el rubro de las válvulas	147
Tabla 6. 30. FODA para equipos y elementos complementarios como bombas, intercambiadores de calor, válvulas, fluidos térmicos y almacenamiento térmico.....	148

Tablas de: Análisis Económico

Tabla 7. 1. Costo mano de obra en Chile respecto a su entorno y al mundo.....	149
Tabla 7. 2. Costo mano de obra en Chile respecto a su entorno y al mundo. Continuación Tabla 7.1.	150
Tabla 7. 3. Costo por cargo	150
Tabla 7. 4. Costo por cargo. Continuación Tabla 7.3.....	151
Tabla 7. 5. Costos y recursos requeridos por trabajo	151
Tabla 7. 6. Inversión y generación de empleo según instalaciones para la fabricación de componentes CSP	153
Tabla 7. 7. Análisis FODA General	153
Tabla 7. 8. Análisis FODA General. Continuación Tabla 7.7.....	154
Tabla 7. 9. Factibilidad manufacturera en Chile	155

Tabla 7. 10. Rango de precios para equipos de deposición de sputtering por magnetrón.....	156
Tabla 7. 11. Materiales comúnmente utilizados en la deposición por sputtering para colectores solares	156
Tabla 7. 12. Precio de mercado para materiales depositados por sputtering.....	156
Tabla 7. 13. Sueldos promedio de acuerdo al INE para el año 2008	157
Tabla 7. 14. Sueldos promedio de acuerdo al INE para el año 2008. Continuación Tabla 7.13.	157
Tabla 7. 15. Equipos de trabajo para los sistemas de deposición por sputtering.....	157
Tabla 7. 16. Nomina de sueldos y gasto eléctrico	158
Tabla 7. 17. Descripción de confección de un flujo de caja.....	158
Tabla 7. 18. Descripción de confección de un flujo de caja.....	159
Tabla 7. 19. Observaciones de los proyectos de adquisición de equipos de sputtering.	165
Tabla 7. 20. Características de la cotización realizada.....	166
Tabla 7. 21. Características del equipo ofrecido	166
Tabla 7. 22. Consideraciones referentes al estudio	167
Tabla 7. 23. Especificaciones típicas en el mercado de arena y cuarzo,	167
Tabla 7. 24. Contaminacion ambiental producto del transporte marítimo de bienes.	168
Tabla 7. 25. Costos por flete de embarcaciones norte americanas y el resto del mundo.	169
Tabla 7. 26. Contaminación en función de la distancia recorrida	171
Tabla 7. 27. Contaminación en función de la distancia recorrida. Continuación Tabla 7.26.....	172
Tabla 7. 28. Superficie total producida para 4,000 [Ton] con distintos espesores.....	172
Tabla 7. 29. Especificaciones del diseño del colector a evaluar	173
Tabla 7. 30. Observaciones de los materiales incorporados en el sistema, Reflector	174
Tabla 7. 31. Observaciones de los materiales incorporados en el sistema, Cilindro Absorbedor ...	174
Tabla 7. 32. Consideraciones incorporadas en la simulación SAM	175
Tabla 7. 33. Presiones admisibles en terrenos de cimentación, concreto a entre 0.5 y 0.8 metros de profundidad [144]	175
Tabla 7. 34. Tabla estimadora de costos de acuerdo a distintos proveedores	176

Tabla 7. 35. Tabla estimadora de costos de acuerdo a distintos proveedores	177
Tabla 7. 36. Tabla estimadora de costos de acuerdo a distintos proveedores	178
Tabla 7. 37. Materiales del colector diseñado	178
Tabla 7. 38. Materiales del colector diseñado. Continuación Tabla 7.37	179
Tabla 7. 39. Presentación de costos colector chileno con absorbedor PTR70 con precio ofrecido por Beaconergy, espejos fabricados con vidrio Optiwhite.....	179
Tabla 7. 40. Tabla de porcentajes de distintos componentes frente al costo del colector total	180
Tabla 7. 41. Costos adicionales al campo solar para el funcionamiento del sistema Fresnel	181
Tabla 7. 42. Estructura de costos en las plantas consideradas.....	182
Tabla 7. 43. Costos de Mano de obra y costo total por cargo	182
Tabla 7. 44. Costos de Mano de obra y costo total por cargo. Continuación Tabla 7.43.....	183
Tabla 7. 45. Costo de instalación por unidad de superficie de colectores.....	185
Tabla 7. 47. Comparación entre distintas fuentes de energía, regiones y Chile.....	187
Tabla 7. 48. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento	187
Tabla 7. 49. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento	188
Tabla 7. 50. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento	188
Tabla 7. 51. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento	188

1. Introducción

Desde hace más de 50 años que en el mundo se ha ido gestando y tomando fuerza un movimiento que busca hacer mejor uso de los recursos naturales, aprovechar de mejor manera los materiales con los que se cuenta, reducir el consumo y aprovechar los residuos. En esencia, dar origen a la conocida frase “Las 3 R’s: Reducir, Reutilizar, Reciclar”. Para un ingeniero mecánico esta perspectiva y meta se ve reflejada en diseños más eficientes para reducir el uso de recursos, desarrollar nuevos materiales y diseñar tecnologías que permitan una mejor utilización de la energía.

Por muy bien estudiados que se encuentren los combustibles fósiles como el carbón, gas natural y petróleo, se debe tener en cuenta que son recursos limitados y de difícil renovación. Así se han desarrollado tecnologías que permiten aprovechar otras fuentes de energía, entre las cuales destaca la utilización de biomasa, energía eólica, energía mareomotriz, o la energía solar, todas energías renovables e inagotables en el corto plazo. Este proyecto se centra principalmente en aprovechar el recurso solar.

Chile es un país privilegiado en lo que se refiere a energías renovables, cuenta con grandes fuentes de biomasa en el sur, una extensa costa de la cual se podría aprovechar la energía mareomotriz, zonas con un excelente recurso eólico, y un enorme desierto en el norte del país, el desierto de Atacama. El norte de Chile no solo cuenta con un buen recurso solar, sino que también presenta una importante industria nacional, la minería. Este rubro que trabaja sin descanso 24 horas al día 365 días al año requiere de grandes cantidades de energía para poder operar. Es decir, el desierto de Atacama es un lugar ideal para incorporar procesos que aprovechen la fuerte radiación solar de la zona.

Dado que Chile no es un país experimentado en el desarrollo de tecnologías solares de forma industrial, este proyecto propone estudiar la capacidad manufacturera nacional y determinar la viabilidad de fabricar ciertos componentes de un colector solar Fresnel. Se ha seleccionado dicho diseño debido a su simpleza de manufactura, amplio rango de trabajo (alcanzando temperaturas medias y altas), y el potencial que entrega como punto de partida para desarrollar otras tecnologías de concentración solar. Se espera que la apropiada instalación de esta industria en territorio nacional potencie la utilización del recurso solar, al reducir los costos de importar equipos completos. Con la instalación de cualquier industria se espera la generación de nuevos puestos de trabajo, junto con nuevos proyectos de Investigación y desarrollo. Eventualmente se podría exportar esta tecnología más allá de la frontera nacional.

2. Objetivos y Alcances

2.1. Objetivo General

Este proyecto busca determinar la factibilidad manufacturera de Chile para producir los distintos componentes de un colector solar Fresnel.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general del proyecto es necesario antes cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los procesos de manufactura, requerimientos y funcionamiento de los componentes del colector Fresnel.
- Estudiar la industria chilena, con el fin de determinar su capacidad manufacturera y sinergias nacionales.
- Determinar los beneficios y costos de producir el componente dentro del país.

2.3. Alcance

El presente proyecto se limita a:

- Describir el funcionamiento, proceso de manufactura, y requerimiento de los colectores solares Fresnel, centrándose en espejos, estructura, receptor y fluido de transferencia térmica.
- Describir los sistemas asociados al apropiado funcionamiento del sistema solar Fresnel, para generación e intercambio de energía térmica. Específicamente, intercambiadores de calor, tanques de almacenamiento y válvulas de control.
- Utilizar un diseño establecido o simplificado que permita estudiar la capacidad productiva del país.

3. Contexto y Antecedentes

3.1. Situación Energética Nacional

La energía es esencial para el desarrollo de las sociedades, estimulando el crecimiento económico y social. En las últimas décadas ha surgido una preocupación por asegurar un abastecimiento energético estable para el país, dando lugar al concepto “seguridad energética”, el cual puede ser definido como “disponibilidad física e ininterrumpida de la energía por un precio asequible, que al mismo tiempo respeta las preocupaciones medioambientales”, donde el objetivo es “minimizar los riesgos de dicho suministro y dependencia, a un costo que la nación está dispuesta a asumir”.

En el caso de Chile se cuenta con considerables recursos hidroeléctricos, dada su geografía montañosa, contribuyendo hasta el 42% [1] de su suministro eléctrico. Sin embargo, la producción es variable debido a las frecuentes sequías, junto con la generación concentrada en el centro sur del país. De esta forma, se ha llegado a que los combustibles fósiles abarquen hasta un 70% del SEPT (Suministro de Energías Primarias Totales). Así, Chile utiliza principalmente productos del petróleo (35%), seguidos de Gas Natural (20%)

y carbón (18%). Dado que Chile no cuenta con grandes depósitos de combustibles fósiles, se ve obligado a importar hasta un 65% de su SEPT. Las Tablas 3.1. y 3.2, describen el balance entre energía importada y exportada, acorde a cada recurso. Se considera la energía primaria como aquella que debe ser procesada antes de poder utilizarse, y la secundaria esta lista para ser aprovechada.

Tabla 3. 1. Porcentaje de energías primarias producidas, importadas, exportadas y su relación respecto al consumo general de energías primarias.

Energético	Producción Bruta	Importación	Exportación	Var. Stock, Perdidas y Cierre	Consumo Bruto
Petróleo Crudo [Mil m³]	3,65%	94.,8%	0%	-2,27%	9.934
Gas Natural [Mill. M³]	25,24%	80,26%	0%	5,51%	4.879
Carbón [Mil Ton]	5,62%	93,74%	0%	-0,64%	9.499
Hidroelectricidad [GWh]	100%	0%	0%	0%	20.158
Eólica [GWh]	100%	0%	0%	0%	408
Leña y Biomasa [Mil m³]	100,59%	0%	0%	0%	25.365
Solar [GWh]	100%	0%	0%	0,59%	215
Biogás [Mill. M³]	100%	0%	0%	0%	13

Fuente: [2] BNE, Ministerio de Energía

Tabla 3. 2. Porcentaje de energías primarias producidas, importadas y exportadas y su relación respecto al consumo general de energías secundarias

Energético		Producción	Importación	Exportación	Var. Stock perd y cierre	Consumo total
Derivados del Petróleo		56%	45%	5%	-5%	19.417
Petróleo	10 ³ Ton	82%	26%	10%	-2%	1.447
Diésel	10 ³ m ³	38%	63%	5%	-5%	9.069
Gasolina	10 ³ m ³	82%	53%	9%	-6%	3.737
Kerosene	10 ³ m ³	99%	21%	0%	-1%	125
Gas licuado	10 ³ Ton	37%	0%	0%	-15%	1.589
Gasolina aviación	10 ³ m ³	16%	48%	0%	-6%	28
Kerosene Aviación	10 ³ m ³	66%	78%	0%	15%	1.141
Nafta	10 ³ m ³	43%	49%	0%	-7%	203
Gas refinería	10 ³ m ³	100%	50%	0%	0%	389
Coke petróleo	10 ³ Ton	54%	0%	0%	-7%	776
Derivados industriales	10 ³ m ³	87%	39%	7%	-5%	912
Electricidad	GWh	105%	16%	0%	5%	66.230
Carbón	10 ³ Ton	6%	0%	0%	-1%	9.499
Coke mineral	10 ³ Ton	83%	94%	0%	-7%	566
Gas Coke	10 ⁶ m ³	100%	0%	0%	0%	237
Gas Natural	10 ⁶ m ³	25%	80%	0%	6%	4.879
Metano	10 ³ Ton	314%	0%	314%	0%	0
Leña y Biomasa	10 ³ Ton	101%	0%	0%	1%	25.365
Eólica	GWh	100%	0%	0%	0%	408
Solar	GWh	100%	0%	0%	0%	215
Biomasa	10 ⁶ m ³	100%	0%	0%	0%	13

Fuente: [2] BNE, Ministerio de Energía

Se observa fácilmente que Chile no es un país exportador de material energético, pero requiere de una fuerte importación de combustible. El país carece de grandes depósitos de combustibles fósiles, y sus más cercanos proveedores (Perú, Bolivia, Venezuela, Argentina)

no han presentado la mejor disposición a hacer negocios con el estado chileno, debido a diferencias ideológicas y riñas históricas.

Entre las iniciativas propuestas por el Ministerio para el desarrollo de Energías Renovables No Convencionales (ERNC)[3], destacan:

Fortalecer y extender el Troncal de Transmisión Eléctrica y Sistemas Adicionales de Interés Público, buscando disminuir los costos de transacción en la coordinación de otros proyectos de líneas.

Licitación de energía ERNC para el suministro de empresas distribuidoras, a modo de fomentar la participación de ERNC y cumplir la meta de 20% en el 2025, reduciendo los costos en el corto plazo.

Incorporar en el subsidio habitacional un componente para sistemas que aprovechen la energía solar, ya sea para calentar agua o generación distribuida, buscando que para el 2025 hasta un 30% de la inyección eléctrica provenga de fuentes ERNC.

Para cumplir con el segundo pilar de la Estrategia Nacional de Energía 2012-2030, el Ministerio de Energía, por medio de la Corporación de Fomento (Corfo), levantó un concurso para materializar una planta de Concentración Solar de Potencia (CSP), entregando un subsidio de hasta 20 millones de dólares para alcanzar el objetivo[4].

En adición al subsidio entregado por Corfo, el gobierno solicitó al Banco Interamericano del Desarrollo USD\$200 millones para financiar proyectos ERNC, asignando USD\$ 66.12 millones al proyecto de concentración solar de potencia.

Se suma también los 15 Millones € de subsidios entregados a Chile provenientes del Fondo de Inversión para América Latina de la Comisión Europea, en conjunto con el banco de Desarrollo Alemán KfW,

3.2. Demanda Eléctrica

La comisión nacional de energía presenta los datos de consumo energético entre 1998 y el año 2010, expresados en la Figura 3.1 donde se observan. [5]

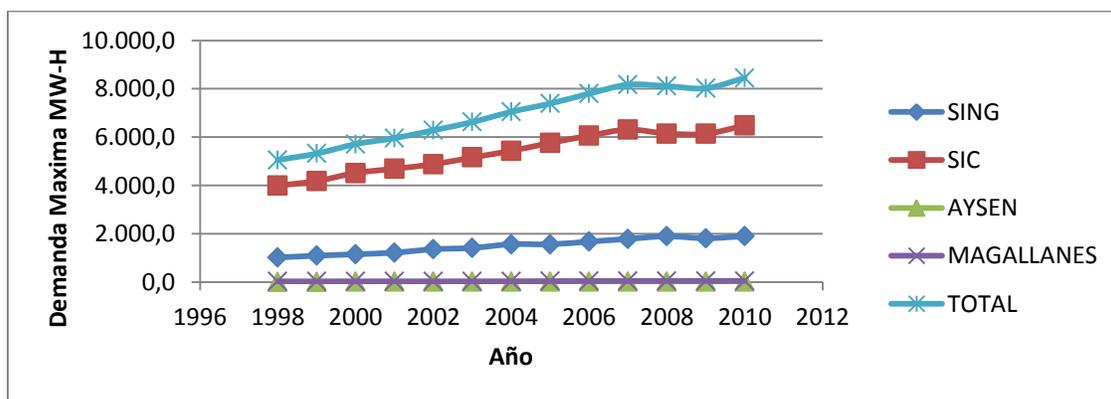


Figura 3. 1. Demanda para las redes entre 1998 y 2010 [5]

La Figura 3.2. Ilustra el crecimiento de la demanda para cada red, respecto a 1998. Se observa un crecimiento en la demanda máxima de entre 60 y 80% para las distintas redes, con el mayor aumento para el SING, y Magallanes. Se ha observado que la demanda por energía eléctrica se duplica cada 10 años.

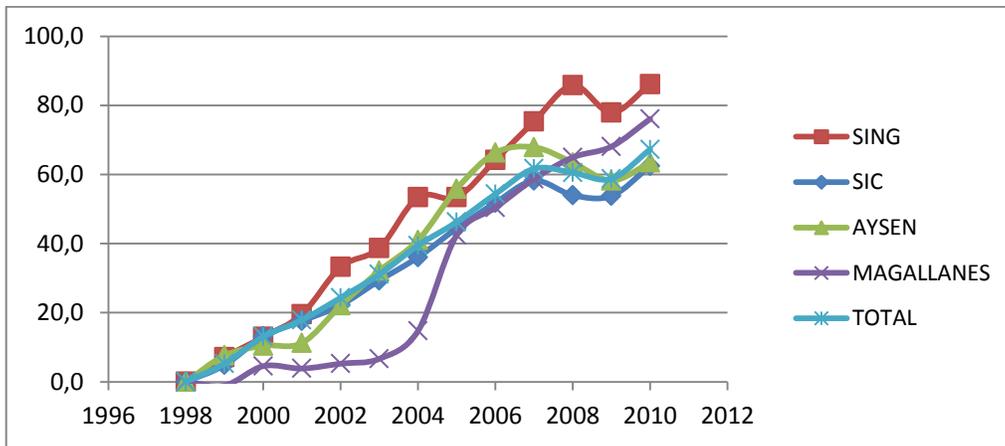


Figura 3. 2 Crecimiento en la demana energetica desde 1998 [5]

Para las redes se aprecia una variación de precios acorde a los gráficos presentados en las Figura 3.3.[6]

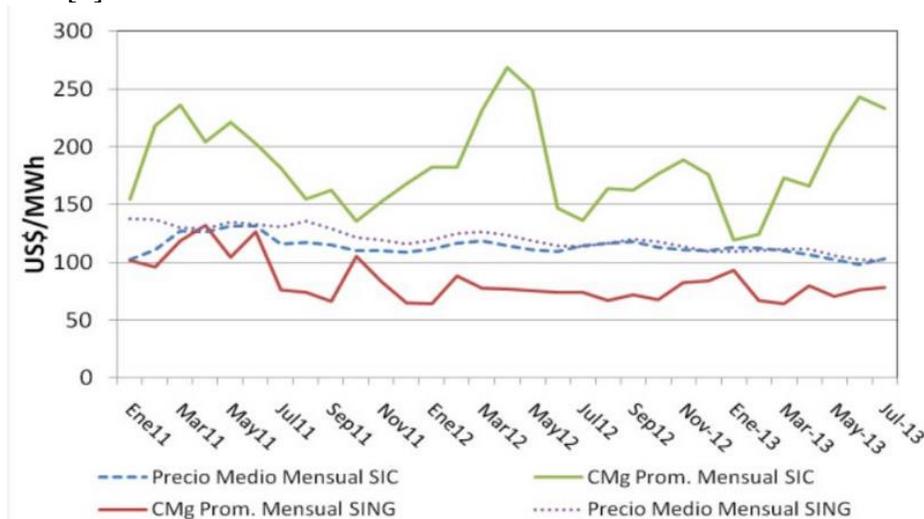


Figura 3. 3 Variaciones en precios de la energía, en el último tiempo para SIC y SING. [7]

Se observa que, aun cuando los precios de la potencia energética se han mantenido relativamente constantes, la demanda energética casi se ha duplicado, en si significando elevados costos para el país. Esta condición llevará a eventuales alzas en los costos de la energía a nivel nacional, debido a simples leyes de mercado, efectos que ya se han comenzado a apreciar.

3.3. Demanda Térmica

A partir del balance Nacional de Energía para el año 2012, se aprecia el como la industria se reparte los recursos energéticos en la Figura 3.4. Se considera un total consumido de 442.220 Tera Calorías, repartidos en transporte, industria y minería, comercial/público/residencial, producción energética y en centros de transferencia.

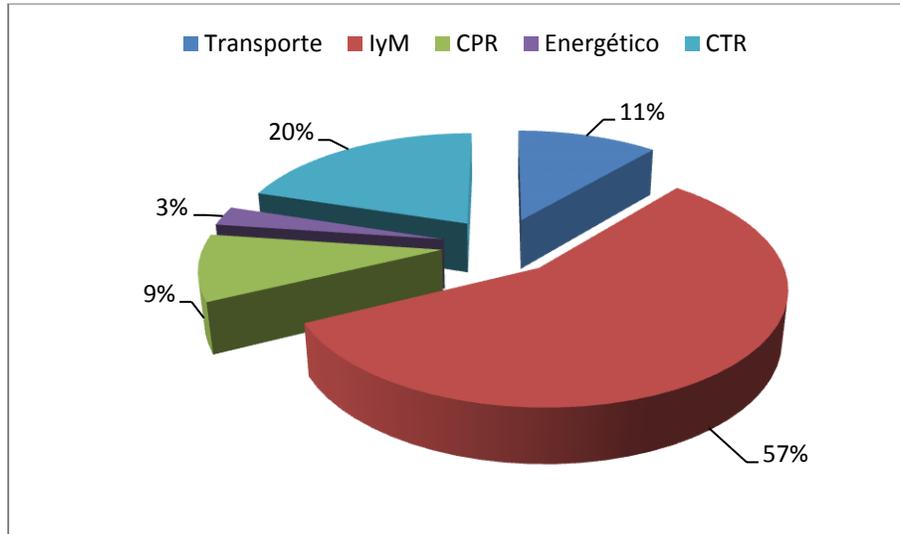


Figura 3. 4 Distribución de energía entre los distintos sectores [2]

En el caso de la industria y minería, se tiene un consumo de 102.684 Tera-Calorías al año. Si se considera una utilización de 24 horas, es equivalente a un consumo de 119,4 GW-h/año, los cuales se distribuyen entre los combustibles enunciados en la Figura 3.5.

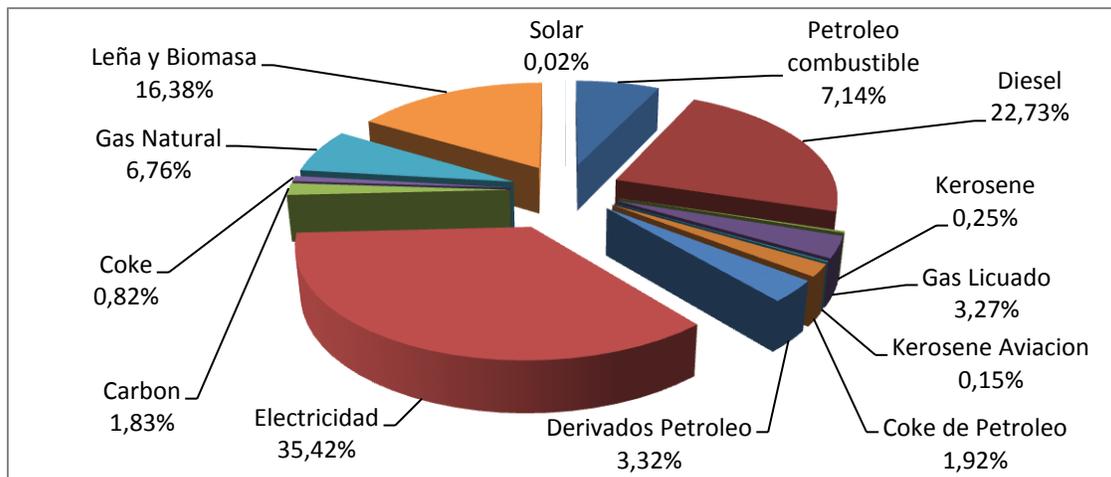


Figura 3. 5 Fuentes de energía para la industria y minería [2]

Se observa que el recurso solar es utilizado de forma incipiente en la industria, aprovechando 18 Tera-Calorías en el año, dando un amplio rango para introducir mayores inversiones a esta tecnología.

Chile presenta un proyecto de energías renovables donde declara generar el 20% de su energía por medio de las energías renovables no convencionales para el año 2025.

En Chile se están desplegando diversos proyectos funcionales a partir de energía solar. Presentados en la Tabla 3.3.

Tabla 3. 3. Proyectos solares CSP en Chile

Nombre	Capacidad	Tecnología	Estado
Enerstar María Elena ISCC	170 MWe	Cilindro parabólico	Anunciado
Pedro de Valdivia 4 (fase II)	90 MWe	Cilindro parabólico	Anunciado
Minera el Tesoro	10 MW	Cilindro parabólico	Operando
Mejillones	5 MWe	Fresnel	Stand-by
María Elena 4	100 MWe	Torre	Anunciado
Atacama 2 (cerro dominador)	110 MWe	Torre	Construcción
Copiapó CSP-PV	260 MWe	Torre (híbrido)	Anunciado

Fuente: [8] CSP Today Business Intelligence

El año 2014 Aguasol desarrollo un estudio buscando determinar las aplicaciones industriales que se le podría dar a la energía solar por concentración en Chile, considerando la radiación incidente, las industrias instaladas en cada región y su requerimiento energético. Estableciendo una demanda total de 14 mil millones de MWh año, y una superficie potencial de trabajo de hasta 6 km².

Tabla 3. 4. Estimación de demanda y superficie potencial por región

Región	Demanda Térmica (MWh)	Radiación (kWh/m ² año)	Superficie potencial (m ²)
XV	218.349	2343	62.128
I	164.965	2070	53.129
II	1.487.506	2362	419.844
III	487.165	2178	149.117
IV	232.165	1817	85.183
V	1.616.267	1620	665.131
VI	393.692	1605	163.527
VII	463.195	1512	204.231
VIII	4.186.890	1537	1.816.044
IX	199.618	1411	94.315
XIV	721.365	1344	357.820
X	937.633	1216	514.053
XII	152.334	874	116.197
XIII	3.507.219	1847	1.265.915
Total	14.768.362	-	5.966.633

Fuente: [9] Proyecto APPSOL

3.4. Recurso Solar

3.4.1. Naturaleza del Recurso Solar

Al estudiar tecnologías que utilizan la radiación solar, es importante tener alguna base en lo que se refiere a longitudes de onda. Como se sabe, distintas longitudes de onda transportan distintas energías. Se destacan tres rangos importantes, cada uno mayor que el siguiente:

- El rango térmico, asociado al calor que emiten los cuerpos por radiación en base a su temperatura. Dicha radiación presenta longitudes de onda de entre 0,1 a 100 μm .
- Una vez que la radiación solar ha atravesado la atmósfera alcanza longitudes de onda de entre 0,25 y 3 μm , es importante considerar esta información debido a que las propiedades ópticas de los materiales como absorptancia y transmitancia dependen de la longitud de onda que se está considerando.
- El rango visible, corresponde a las longitudes de onda que el ser humano es capaz de distinguir, 0,38 a 0,79 μm .

La Figura 3.6, describe gráficamente dichas longitudes de onda y con rango son descritas.

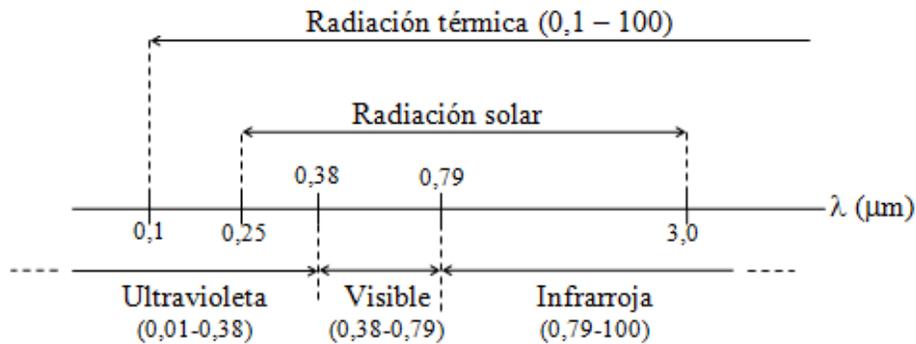


Figura 3. 6 Descripción gráfica de distintas longitudes de Onda. [10]

A nivel mundial existe una tendencia en que a menor latitud (más cerca del ecuador), mayor es la radiación recibida desde el sol, por sobre la atmósfera, como lo indica la Figura 3.7, donde se describe la radiación percibida por sobre la atmósfera.

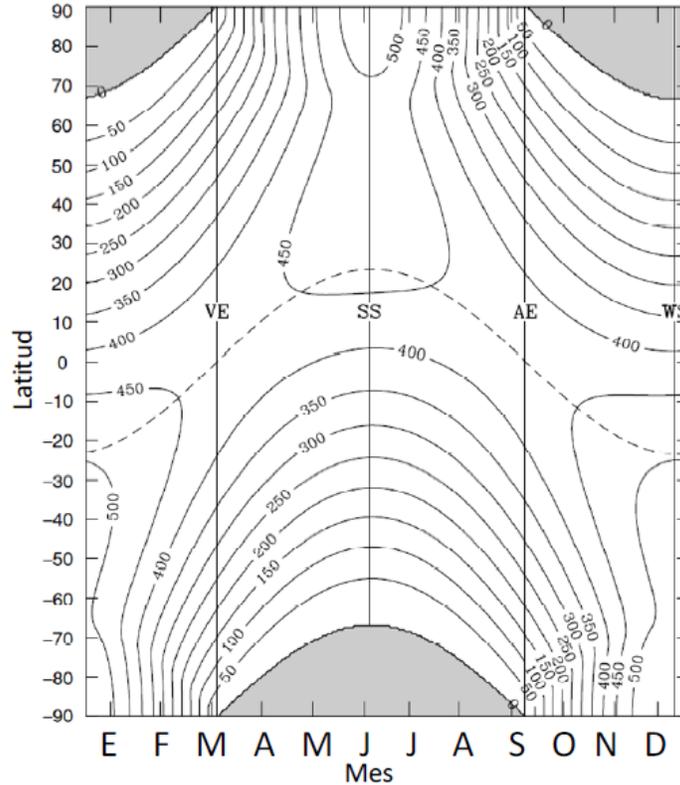


Figura 3. 7. Distribución de la radiación solar promedio en 24 horas (considerando día y noche) medidos en el tope atmosférico, medido en W/m^2 . AE (equinoccio de otoño) y WS (solsticio de invierno).[11]

La radiación que llega a la superficie depende fuertemente de la latitud y fecha correspondiente, pero es especialmente con el Índice de Transparencia Atmosférica, ITA. El ITA, que varía la radiación que recibe la superficie del planeta de acuerdo a la calidad de su atmósfera, así los días nublados presentan menor ITA que días despejados.

Chile cuenta con un extenso desierto en el norte del país, a la altura del trópico de capricornio (23° latitud sur), sin embargo, a lo largo de todo el país se cuenta con un buen recurso solar. Como se sabe, la radiación que llega desde el sol se mide en energía por unidad de superficie, usualmente resumida en Wh/m^2 día. Es importante distinguir que la energía puede ser caracterizada de acuerdo a su forma de llegada a la superficie como “Global Horizontal Irradiance” (GHI) o “Direct Normal Irradiance” (DNI), donde la relación entre ambas mediciones se describe en la Ecuación 3.1, para la cual Z corresponde al ángulo zenit del sol, y DHI a la “Radiación Horizontal Difusa”. Para los sistemas de concentración solar se considera solo la radiación DNI.

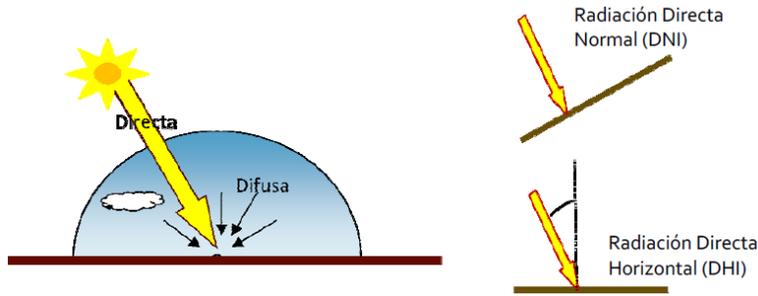


Figura 3. 8 Descripción grafica de radiaciones DNI, DHI. (Izquierda) Componentes de la radiación que llegan a la superficie. (Derecha arriba) Radiación Normal Directa, perpendicular a los rayos del sol. (Derecha abajo) Esquema de la posición de un receptor para medir la Radiación Horizontal DHI. [12]

$$GHI = DHI + DNI * \cos(Z)$$

Ecuación 3.1.

La Figura 3.9, describe la radiación directa promedio en múltiples regiones del planeta (no describe Alaska ni la Patagonia), se observa que Chile cuenta con el mejor recurso solar del mundo.

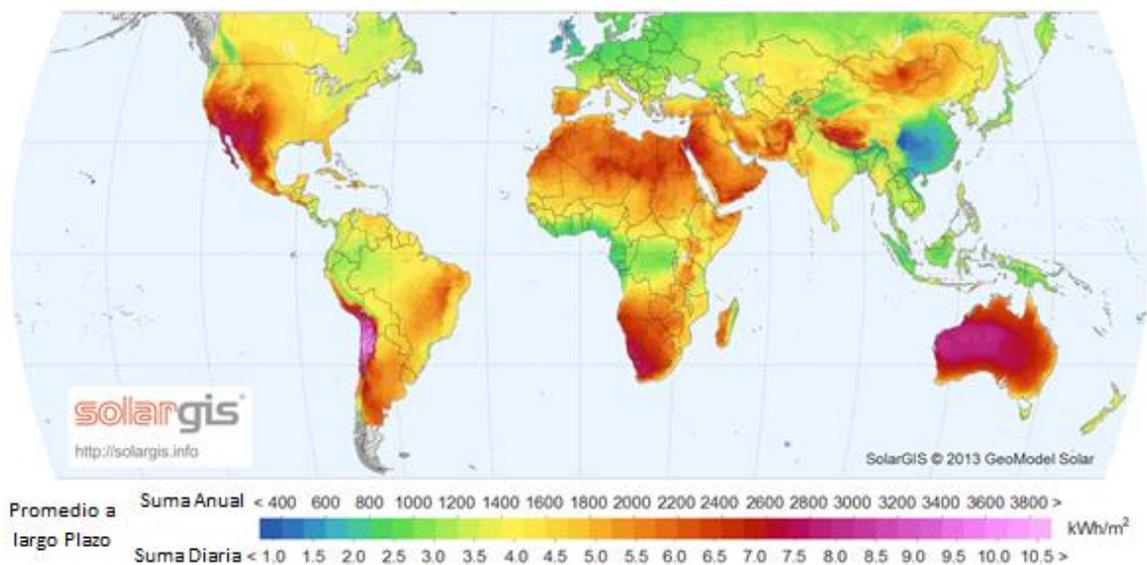


Figura 3. 9 Mapa de la radiación normal directa alrededor del mundo. [12]

Se observa que pese a no estar en el ecuador, el desierto Australiano, Chileno, Norte Americano, y Sud-Africano presentan los mayores índices de radiación normal directa. Esto se explica debido al ITA, que presenta elevados valores entorno a los desiertos. El desierto chileno destaca en su DNI debido a su elevado ITA, asociado a la elevación del desierto sobre el nivel del mar y latitud.

Se debe observar que las zonas desérticas, más tentativas para la instalación de sistemas de energía en base a radiación solar, también presentan grandes cambios de temperatura entre el día y la noche (llegando a diferencias de hasta 20°C). Además se destaca la presencia de polvo fino en la región, combinado con vientos que alcanzan los 100 Km/h que mueven el fino a lo largo del desierto, hacen que la región tenga una elevada tendencia

a la deposición de material particulado sobre superficies. Una situación similar a la experimentada en el desierto de California, Figura 3.10.

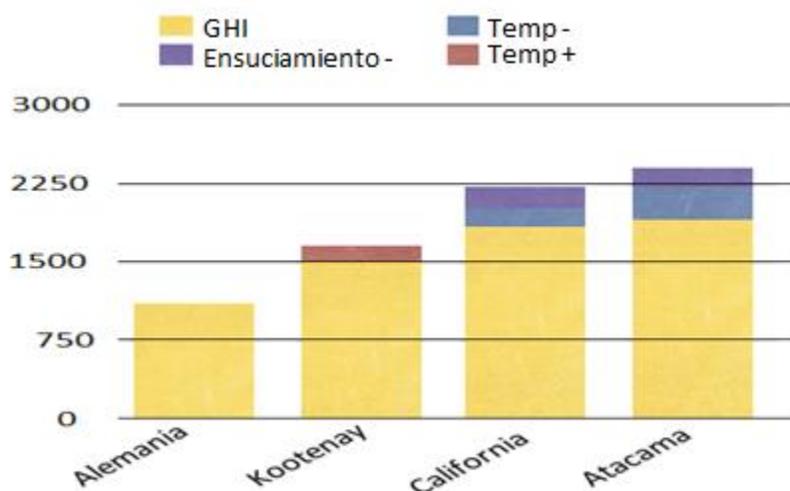


Figura 3. 10 Salida energética considerando pérdidas por temperaturas y deposición de polvo. [14]

3.4.2. Recurso Solar en Chile

El Ministerio de Energía, en conjunto con el Departamento de Geología de la Universidad de Chile, ha desarrollado un mapa referente a la radiación global recibida en distintas ubicaciones del país, dicha información es resumida en la Tabla 3.5.

Tabla 3. 5. Resumen de radiación Global Horizontal en torno a la capital de cada región

Región	Nombre	Capital	Latitud	GHI Promedio [KW h/m ² Día]
XV	Arica y Parinacota	Arica	18°28'	6,8
I	Tarapacá	Iquique	20°17'	6,6
II	Antofagasta	Antofagasta	23°38'	6,3
III	Atacama	Copiapó	27°22'	6,3
IV	Coquimbo	La Serena	29°54'	4,9
V	Valparaíso	Valparaíso	33°03'	5,3
RM	RM de Santiago	Santiago de Chile	33°26'	5,7
VI	O'Higgins	Rancagua	34°10'	5,6
VII	Maule	Talca	35°25'	5,3
VIII	Biobío	Concepción	36°46'	5,1
IX	Araucanía	Temuco	38°54'	4,4
XIV	Región de los Ríos	Valdivia	39°48'	4,0
X	Región de los Lagos	Puerto Montt	41°28'	3,4

Fuente: [12] Explorador del recurso solar en Chile

Para presentar un apropiado conocimiento de las temperaturas alcanzables en el colector, es importante comprender la radiación incidente en la zona. Se entiende que el norte del país es una zona especialmente privilegiada en lo que se refiere a radiación incidente. Teniendo presente dicha realidad, el Ministerio de Energía seleccionó nueve

localidades en el norte del país, y realizó mediciones de radiación global y directa durante lapsos de 2 a 5 año. Cada ubicación cuenta con información sobre la radiación directa día a día, hora a hora. Tomando el promedio anual de esta información se construye la Tabla 3.6, donde se describe la radiación incidente en cada ubicación entre las 7:00 y 19:00 horas.

Tabla 3. 6. resumen de resultados obtenidos en cada ubicación.

Lugar	DNI promedio, diario W/m ²	Máximo Wh/m ²	KWh/(m ² Año)
Pampa Camarones	559,3	1.064	2.600
Pozo Almonte	663,0	1.105	3.030
Crucero	702,1	1.086	3.200
Salar	684,8	1.132	3.170
San Pedro	693,0	1.112	3.190
Puerto Angamos	466,7	986	2.250
Cerro Armazones	617,4	1.137	3.460
Salvador	742,0	1.088	3.360
Inca de Oro	694,9	1.116	3.320

Fuente: [14] Ministerio de Energía

La Figura 3.11., describe las variaciones de radiación directa a lo largo del día. Destacando máximos de hasta 1KW-h/m².

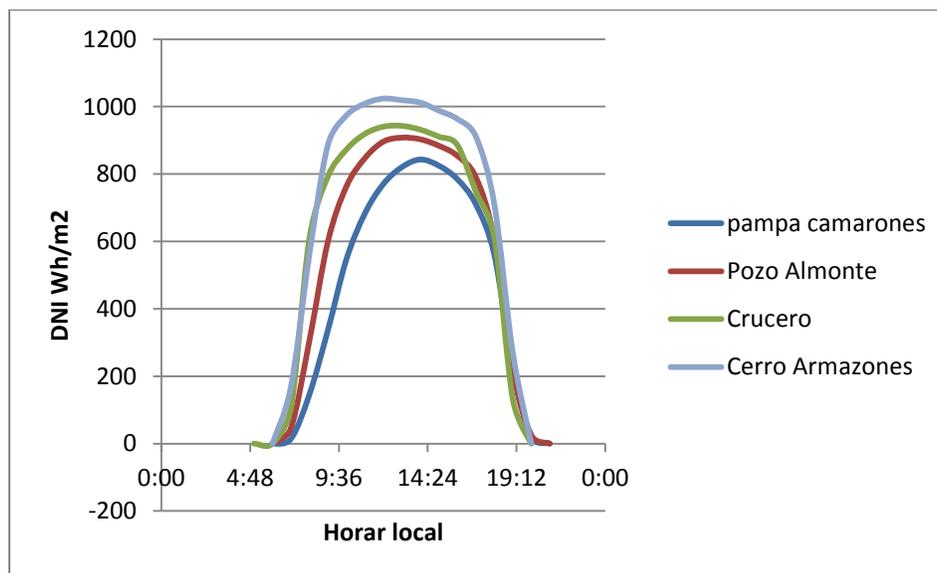


Figura 3. 11. Variaciones de radiación DNI a lo largo de un día promedio [15]

3.5. Conversión de Energía Solar

Durante el día el sol irradia energía sobre la superficie terrestre a razones que varían en la medida que la Tierra rota sobre sí misma. Normalmente esta energía interactúa con las superficies expuestas a la radiación solar, ya sea absorbiendo, reflejando o transmitiendo parte de la energía. Así la superficie expuesta al sol adquiere energía por absorción durante el día, la energía absorbida es mayor que la irradiada, y por las noches pierde energía por

medio de la irradiación térmica. El concepto de utilizar la energía solar para generar calor es parte del conocimiento colectivo desde temprana edad, solo es cosa de considerar a niños utilizando una lupa y la luz del sol para marcar sus nombres en hojas o papel. Sin embargo, la tecnología actual busca utilizar la radiación incidente, no para marcar algún material vegetal, sino para reducir la necesidad de utilizar combustibles contaminantes.

Existen dos utilidades generales para las cuales se aprovecha la radiación solar en ingeniería. La primera aplicación que se le da es la de calentar algún fluido de trabajo, ya sea para realizar algún proceso químico o físico. De esta forma se puede hacer uso de la radiación incidente para alcanzar temperaturas de activación para ciertas reacciones, cocinar o deshidratar algún alimento, producir electricidad a partir del vapor o incluso fundir y trabajar algún metal.

La segunda utilidad general que se le da a esta energía, es la de generar electricidad. Esta aplicación se puede lograr de forma indirecta utilizando la aplicación descrita anteriormente o se puede generar corriente eléctrica, de forma directa, por medio de la utilización de paneles fotovoltaicos. Este trabajo no ahonda en esta aplicación de la energía solar.

Mientras mayor sea una superficie expuesta al sol, más energía recibirá de él, pero se debe considerar que en la medida que un cuerpo aumenta su temperatura también aumenta el gradiente térmico con el ambiente externo, debido a lo cual se eleva la tasa de transferencia térmica por convección, y aumentan la irradiación de energía al ambiente. Así una superficie alcanza un equilibrio en la medida que recibe radiación constante, para alcanzar mayores temperaturas es necesario suministrarle mayor energía a dicha superficie, pero el sol emite radiación limitada por unidad de superficie. Sin embargo, considerando que los materiales no solo absorben energía electromagnética, sino que también pueden reflejar o ser traspasados por parte de dicha onda, como indica la Figura 3.12. Se observa que dichas propiedades siguen la relación establecida en la Ecuación 3.2. Haciendo uso de las propiedades de reflexión y absorción, es posible aprovechar la energía que el sol irradia sobre alguna superficie, al concentrarla en alguna región del espacio. Así surge la distinción entre colectores con concentración y sin ella.

$$E = A + R + T$$

Ecuación 3.2.

Donde E es la energía total, A la energía absorbida, R la energía reflejada y T la energía transmitida.

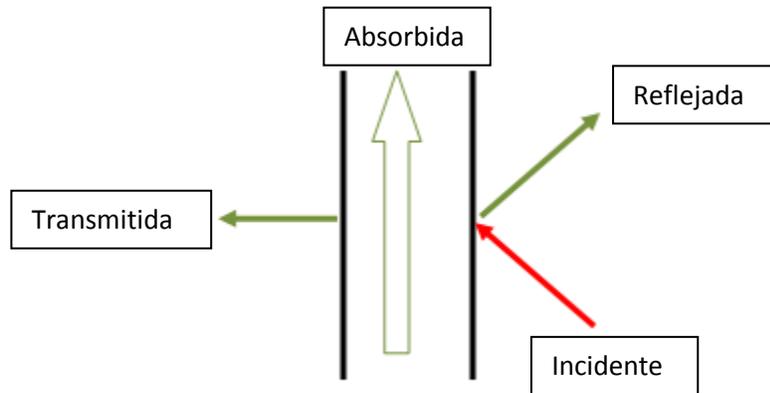


Figura 3. 12. Descripción grafica de interacciones de la luz con materiales

Dado que la absorción es un proceso superficial es importante que la superficie en contacto con el fluido a calentar presente elevada absorptividad, con bajas reflectividades y transmitividades. Luego el fluido térmico es calentado por proceso de conducción. Por otro lado las superficies que reflejan la radiación incidente hacia la zona de absorción, deben de por si presentar baja absorptividad y transmisividad, pero alta reflectividad.

Resumiendo, es posible notar tres grandes rasgos de las distintas tecnologías solares:

- Que se hace con ella: calentar algún fluido térmico a utilizar o hacer uso del efecto fotovoltaico.
- Concentrar o no concentrar la radiación.
- Los límites de energía que cada tecnología es capaz de concentrar.

Tabla 3. 7. Tecnologías de conversión térmica y su capacidad de concentración

Tecnología	Tipo de concentración	Razón de Concentración	Temperaturas de Operación. [°C]
Placa Plana (CPP)	-	1	40-60
Tubo al vacío (CTV)	-	1	40-110
Fresnel (CF)	Lineal	25-100	100-400
Cilindro Parabólico (CPP)	Lineal	70-80	350-550
Receptor Central (CRC)	Puntual	300-1000	800-1000
Disco Parabólico (CDP)	Puntual	1000-3000	-

Fuente: [16] Muller-Steinhagen, Hans y Trieb, Franz. Stuttgart

Como se observa en la Tabla 3.7, los equipos son capaces de alcanzar distintas temperaturas, dando lugar a que diferentes equipos se adecuen de mejor manera para trabajar distintos procesos industriales. Las Tablas 3.8, y 3.9. mencionan algunos procesos industriales y los diseños de tecnología CSP capaces de cumplir con los requerimientos de cada proceso.

Tabla 3. 8. Aplicaciones para distintas tecnologías solares

Industria	Proceso	Temperatura (°C)	Tecnología funcional
Alimento y Bebestibles	Limpieza	80-150	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal Placa Plana Tubo al Vacío
	Pasteurización	80-110	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal Placa Plana Tubo al Vacío
	Esterilización	130-150	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
	Deshidratación/secado	130-240	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
	Cocina	80-100	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal Placa Plana Tubo al Vacío
Limpieza Industrial	Lavado al Vapor	150	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
Química	Tratamiento caliente	150-180	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
	Hervir	95-110	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal Placa Plana Tubo al Vacío
	Destilación	110-300	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
	Secado	150-180	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
Papel	Blanqueado	130-180	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
	Secado	130-180	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
Textil	Lavado	80-100	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal Placa Plana Tubo al Vacío
	Tratamiento caliente	80-130	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
	Blanqueado	60-100	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal Placa Plana Tubo al Vacío
	Teñido	100-160	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal

Fuente: [17][18][19][20] K. Gouthamraj “et al”, Francesco and Vittorio Orioli, U.S. Department Of Energy, E. Gálvez “et al”.

Tabla 3. 9. Aplicaciones para distintas tecnologías solares, continuación tabla 3.18.

Industria	Proceso	Temperatura (°C)	Tecnología funcional
Agua	Desalinizar	70-100	Colectores estáticos Placa Plana Tubo al Vacío
Generación Eléctrica de Potencia	Caldera Precalentador	250°C-450°C	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal Torre Central Antena Stirling
Plástico	Extrusión	150-180	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal
	Secado	150-180	Cilindro Parabólico Fresnel Lineal

Fuente: [17] K. Gouthamraj “et al”, [18] Francesco and Vittorio Orioli, [19] U.S. Department Of Energy, [20] E. Gálvez “et al”.

En las siguientes subsecciones se describen distintas tecnologías concentradoras y no concentradoras.

3.5.1. Colectores sin Concentración Solar

Como ya se comentó, los sistemas de colección solar sin concentración, utilizan directamente la energía que llega a ellos. Entre estas tecnologías destacan:

- **Colector de placa plana:** Consiste en un sistema en que donde la energía es absorbida por una placa usualmente fabricada con algún material con alta absorción o cubierto con algún material que le entregue dicha característica. A la placa se le incluyen vetas o canales por donde se hace circular el fluido a calentar, la placa al presentar una mayor superficie que los tubos se calienta y por conducción transfiere calor al fluido. Para evitar las pérdidas de calor por conducción hacia el suelo o estructura, la placa y el fluido son colocados dentro de un compartimiento cubierto de algún material aislante como lana mineral o madera. Dado que no es posible cubrir la cara superior de la placa con el material aislante, se coloca sobre el compartimiento una cubierta de vidrio o plástico de alta transparencia. La Figura 3.13. entrega una buena descripción del sistema.

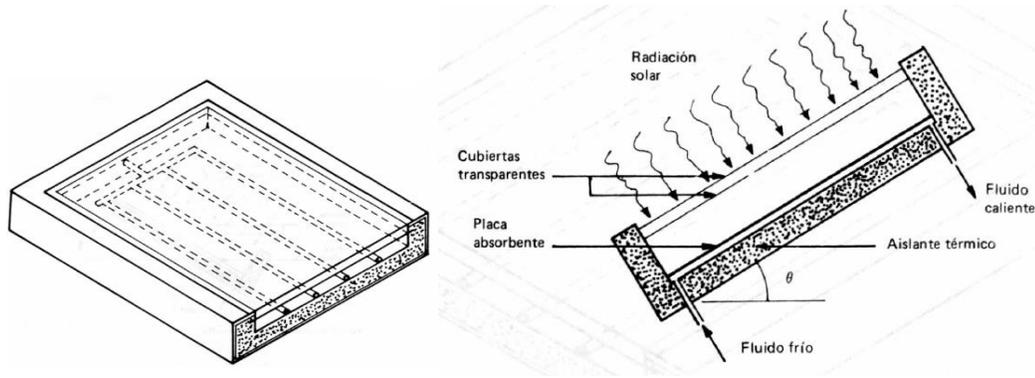


Figura 3. 13 (Izquierda) Isométrico de un sistema de colección de placa plana. (Derecha) Diagrama del funcionamiento de un colector de placa plana. [20]

- Tubos al vacío:** Consiste en colocar tubos, por los cuales circula el fluido a calentar, dentro de cilindros al vacío. El objetivo de este diseño es recibir la radiación solar, y reducir al mínimo las pérdidas hacia el ambiente. Dado que la superficie expuesta al sol es reducida se esperaría alcanzar bajas temperaturas, sin embargo, la importante aislación térmica permite al fluido alcanzar elevadas temperaturas. Usualmente el fluido a calentar es evaporado en la sección del tubo al vacío, se coloca una cúpula en la cumbre del tubo donde se transfiere el calor al fluido definitivo, mientras el fluido térmico se condensa y precipita. Como indica la Figura 3.14.

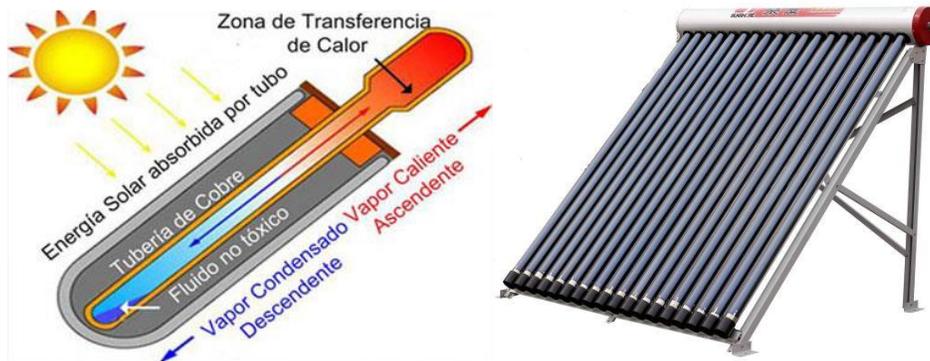


Figura 3. 14. (Izquierda) Representación del funcionamiento de un colector de tubos al vacío. (Derecha) Colector de tubos al vacío. [22][23]

3.5.2. Colectores con Concentración Solar

Dado que a mayor temperatura aumentan las pérdidas energéticas en el fluido, eventualmente se llega a un balance en el cual la energía absorbida por el receptor es igual a la que pierde, llegando a la temperatura máxima del receptor. Es posible aumentar el límite térmico del receptor ya sea reduciendo las pérdidas térmicas, o aumentando la energía incidente. La primera alternativa se logra aislando el receptor, mientras que la segunda es posible aprovechando el fenómeno de reflexión de la radiación en las superficies. Para aplicar la segunda técnica, se hace uso de superficies altamente reflejantes, como espejos, para redirigir la radiación hacia la superficie de absorción. Las Ecuaciones 3.3, y 3.4, describen algunos modelos para definir la razón de concentración de un colector. En estas ecuaciones, C representa la razón de concentración, con A el área de reflectores

primarios, A_{abs} el área del receptor (en las mismas unidades), I_c la irradiación de la luz concentrada, I_B la irradiación Normal Directa recibida en los reflectores primarios $W-h/m^2$.

$$C = \frac{A}{A_{abs}} \quad \text{Ecuación 3.3.}$$

$$C = \frac{I_c}{I_B} \quad \text{Ecuación 3.4.}$$

3.5.2.1. Concentración Solar Puntual

En adición a las tecnologías que absorben la radiación directamente en la superficie expuesta, existen tecnologías que reflejan la radiación, ya sea a un punto en el espacio o a una línea, región por la cual se hace pasar el fluido térmico. Como se mencionó anteriormente, al estar recibiendo mayor radiación el fluido es capaz de alcanzar mayores temperaturas antes de que las pérdidas de calor superen a las ganancias. Entre los colectores puntuales destacan:

- **Antenas y motores Stirling:** Las antenas, en lugar de utilizar la radiación que les llega directamente a la superficie del equipo, utilizan la reflexión para concentrar la radiación en un punto focal. Lugar geométrico en el que se acumulan los fotones y calientan un absorbedor colocado en dicha región, como se indica en la Figura 3.15. El calor capturado acciona al motor Stirling.

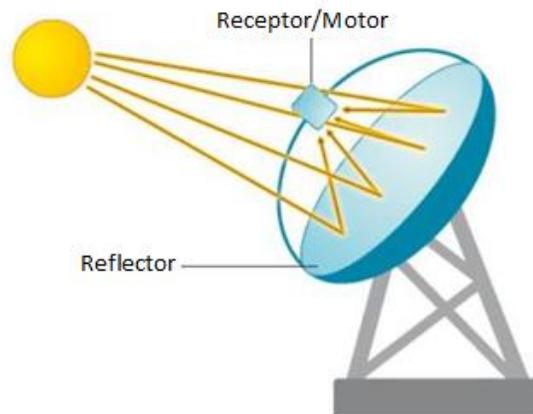


Figura 3. 15. Representación de la antena y como concentra la radiación [24]

El motor Stirling, opera acorde a diferencias de presión entre las secciones calientes y frías para operar. El mecanismo utiliza dos pistones o cilindros, el primero, conocido como regenerador, disipa aire caliente hacia la sección fría y de regreso. Por su parte, el otro cilindro transfiere la fuerza para aplicar toque sobre un cigüeñal y así generar trabajo mecánico. [25]

- **Torre de receptor Central:** Similar al funcionamiento del disco parabólico, la torre solar concentra la radiación solar en un solo punto. El sistema se puede separar en dos secciones, el campo de heliostatos y la torre concentradora. El campo de heliostato consiste en una extensa superficie cubierta de espejos que reflejan los rayos solares a

una torre central donde se concentra la energía en algún fluido térmico. La torre central, como su nombre indica es una torre elevada por la cual circula un fluido térmico, como un aceite mineral, o sales fundidas. Dicho fluido es luego utilizado para accionar una turbina y generar electricidad.



Figura 3. 16. Planta de recepción central, Huerto Solar, Granada, España. [26]

Al caracterizar estas plantas es importante considerar el diseño y distribución de los heliostatos. Usualmente están compuestos por un espejo bajo en hierro, delgado y de segunda superficie. Estos espejos son apoyados en un substrato que les da una forma sutilmente cóncava, donde cada panel apunta su foco a alguna sección del receptor. Un diagrama de un heliostato es presentado en la Figura 3.17.

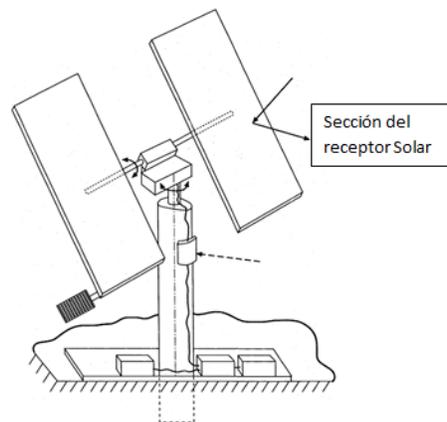


Figura 3. 17 Heliostato de control inalámbrico, alimentado por batería, para plantas solares. [27]

Respecto al receptor, este es montado sobre una torre, usualmente entre los 60 y 100 metros de altura. El objetivo de este equipo es absorber la energía reflejada en los heliostatos y transferirla a algún fluido de trabajo. Existen básicamente dos diseños de receptores, externo y de cavidad.

El receptor externo corresponde a un arreglo de múltiples paneles cargados con pequeños tubos soldados lado a lado para formar un cilindro. El fluido a calentar ingresa por el inferior de cada cilindro y es recolectado por el lado superior. En las Figuras 3.18 y 3.19, se presentan diagramas de receptores utilizados en EE.UU.

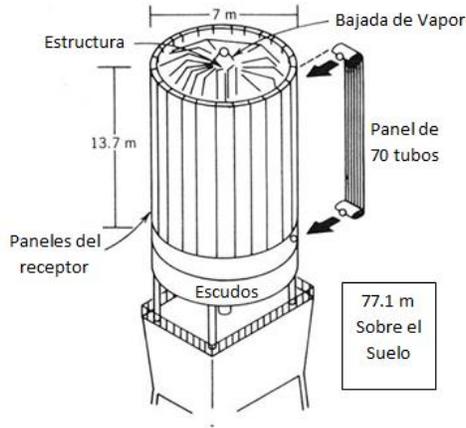


Figura 3. 18. Receptor de la planta Solar One, Barstow, California EE. UU.[26]

Por otro lado, existen los receptores de cavidad o vacío. Para evitar las pérdidas de calor que muestran los receptores, se coloca la superficie absorbente en el interior de una cavidad aislante, reduciendo las pérdidas de calor por convección. Se orientan los heliostatos a modo de que proyecten dentro de la apertura de cada cavidad, cuyas paredes las forman los elementos absorbedores.

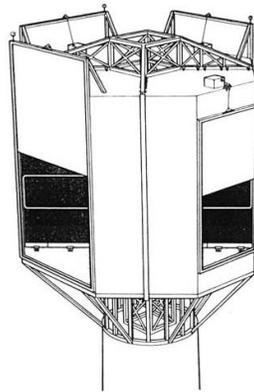


Figura 3. 19 Receptor de Cavidad, diseñado para trabajar entre 501 y 565°C, con vapor, sodio, o sales fundidas. (Battleson 1981) [26]

3.5.2.2. Concentración Solar Lineal

De forma similar al funcionamiento de los colectores solares puntuales, los colectores solares lineales enfocan la radiación que incide sobre un plano en una región menor, concentrando la energía en una región del espacio. La temperatura alcanzada con esta tecnología es superior a la alcanzada al utilizar sistemas sin concentración, pero al concentran la energía sobre una línea, en lugar de un punto, aumenta la distancia que debe recorrer el fluido para calentarse, dando lugar a la pérdida de calor. Estos sistemas no alcanzan las mismas temperaturas que los concentradores puntuales, especialmente los de torre central donde toda la energía que llega a una extensa superficie es enfocada a un solo punto del espacio.

Entre la concentración solar lineal, destacan:

- Cilindros Parabólicos:** Los colectores parabólicos utilizan el principio óptico de la parábola, donde los rayos de luz que inciden sobre la parábola de forma paralela al eje de la misma son reflejados a un solo punto, el foco. En caso de inclinar la parábola los rayos reflejados en la parte alejada a la fuente se acumulan sobre el foco, la sección contraria acumula los rayos bajo el mismo, como indica la Figura 3.20, izquierda. Para aprovechar de mejor manera la fuente, se construyen los concentradores de cilindro parabólico como una proyección lineal de una parábola, como indica la Figura 3.20, derecha.

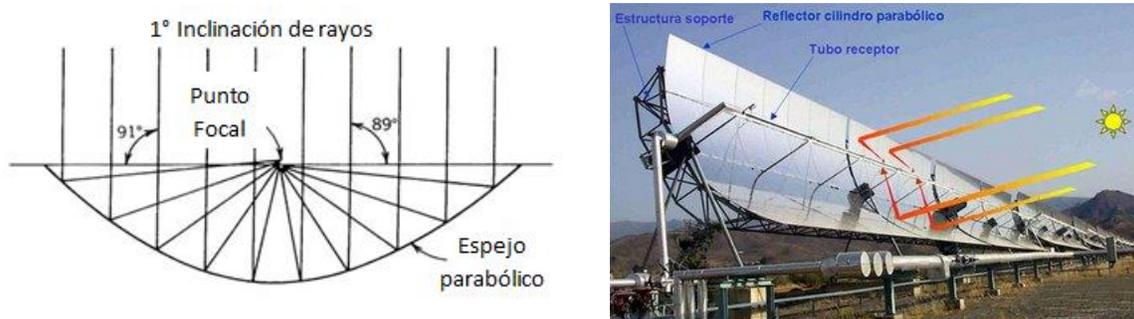


Figura 3. 20. (Izquierda) descripción grafica de la óptica de un cilindro parabólico. [26][29]

Se coloca un cilindro o cañería que pasa por el foco de la parábola, y se hace circular el fluido térmico a través de dicho cilindro. De esta forma el fluido acumula calor en la medida que viaja a lo largo de los receptores parabólicos.

Estos colectores pueden ser utilizados para generación de potencia eléctrica, logrando calentar vapor hasta temperaturas de 400°C. Se debe considerar que para lograr dichas temperatura se requiere un buen recurso solar, junto con reflectores de alta reflectividad, apropiadamente diseñados que incluyan sistemas de seguimiento excepcionales. [6] En definitiva la, eficiencia de estos colectores depende de dos eficiencias, óptica y térmica. A su vez, la eficiencia óptica depende de la precisión geométrica, reflectividad de los espejos, transparencia del tubo receptor absortividad del tubo receptor. Por su parte, la eficiencia térmica mide las pérdidas ocasionadas por la diferencia de temperatura entre el fluido a calentar y el ambiente. Estas pérdidas se deben a irradiación y a la convección, y se ven influenciadas por la superficie emisora, la emisividad del receptor, la aislación entre el tubo receptor y su empaque.

- Colectores Fresnel Lineal:** Los colectores Fresnel, foco de este proyecto, opera de forma similar a los cilindros parabólico. La principal diferencia entre estos los dos colectores lineales corresponde a la dimensión y cantidad de espejos reflectantes por colector. Por un lado el cilindro parabólico incorpora de uno a cuatro grandes espejos de curva parabólica, mientras que el colector Fresnel utiliza múltiples espejos cóncavos, alineados uno al lado del otro. Como indica la Figura 3.21, izquierda.

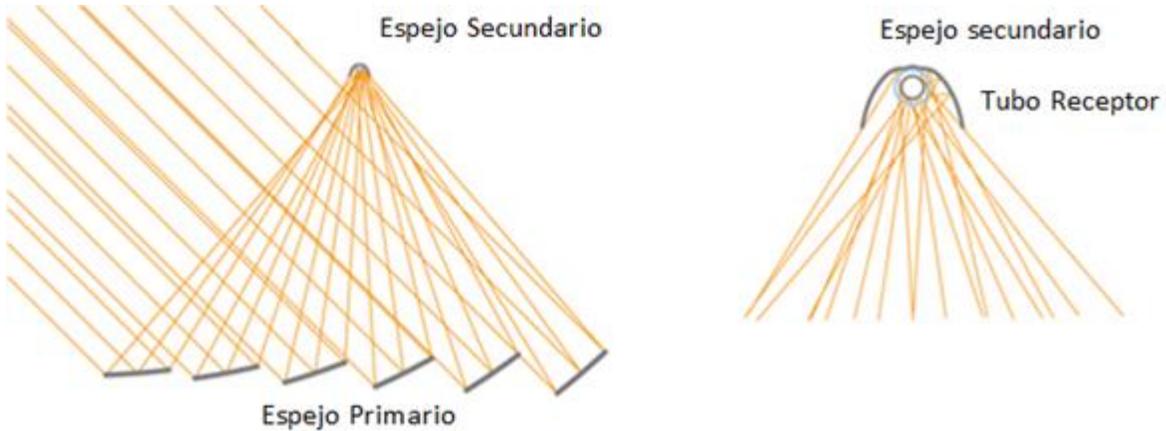


Figura 3. 21. (Izquierda) Colector Fresnel, (Derecha) y su absorbedor,[29]

Para aumentar la eficiencia del colector, y facilitar los cálculos de seguimiento solar se utiliza un espejo secundario para asegurar que la reflexión de los rayos llegue a calentar el fluido, pero esta segunda reflexión presenta los problemas de reducir la eficiencia óptica del equipo.

Estos colectores pueden ser utilizados para operar en media y alta temperatura con rangos que van desde los 100°C a los 400°C, siendo un excelente equipo para iniciar la manufactura de colectores en el país, debido a su sencillez y versatilidad. [17]

3.6. Bases de Funcionamiento del Colector

3.6.1. Óptica General

Los colectores Fresnel, corresponden a colectores que hacen uso de la óptica desarrollada por Augustin-Jean Fresnel, para producir lentes de gran apertura, con corta distancia focal, pero requiriendo poco material para su confección. Para lograr dicho objetivo se utiliza una sucesión de secciones de lentes dispuestas una dentro de la otra logrando direccionar la luz de la forma deseada. De forma similar en la óptica en lentes, se utiliza la refracción de la luz en algún material para redirigir los rayos de forma convergente o divergente.

Con respecto a la generación de imágenes, utilizando lentes, se mantiene la relación entre la altura de la fuente y la imagen de acuerdo a lo presentado en las Ecuaciones 3.5, y 3.6, utilizando la Figura 3.22, como referencia.

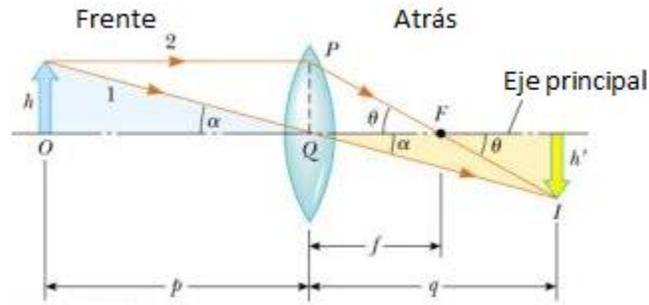


Figura 3. 22 Representación de la generación de imágenes al utilizar lentes.[31]

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p} \quad \text{Ecuación 3.5.}$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \left[\frac{1}{\text{unidades de distancia}} \right] \quad \text{Ecuación 3.6.}$$

Colocando secciones de lentes una dentro de la otra, Fresnel logró desarrollar un lente convergente, de corta distancia focal y poca necesidad de material. Esta tecnología fue desarrollada originalmente para ser utilizada en faros, pero hoy en día los lentes Fresnel son utilizados para concentrar la radiación solar y utilizarla para cocinar o fundir acero y vidrio en la confección de artesanías.

El colector solar Fresnel Lineal utiliza la misma idea desarrollada por Fresnel para trabajar lentes, pero en lugar de ser utilizar espejos radiales, utiliza reflectores lineales. Los colectores solares Fresnel utilizan esta idea como base física para su funcionamiento.

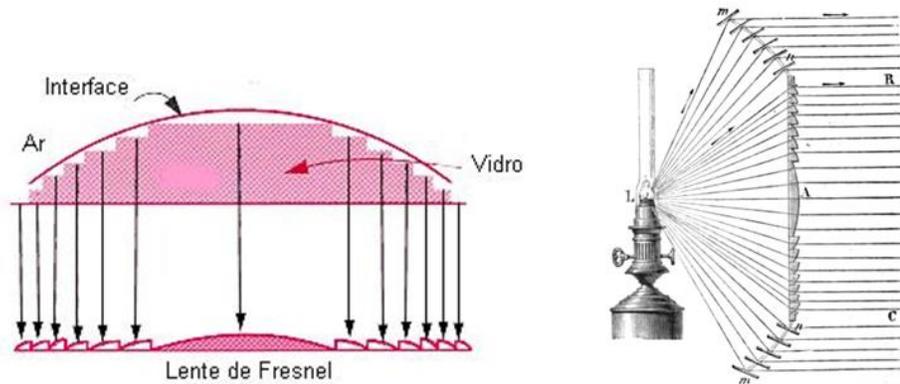


Figura 3. 23 (Izquierda) relación entre un lente Fresnel y su equivalente Convexo. (Derecha) Interacción entre una fuente y el lente Fresnel [32][33]

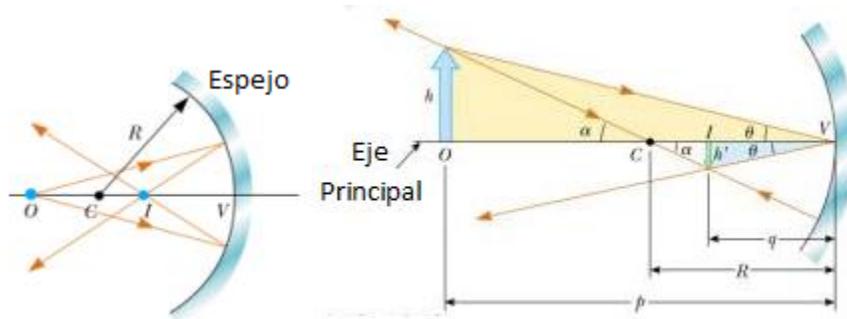


Figura 3. 24 (Izquierda) descripción de un espejo cóncavo. (Derecha) generación de imagen en un espejo cóncavo.[31]

Para los espejos cóncavos, se considera:

OCIV, el eje principal del espejo.

C, centro de curvatura

R, el radio de concavidad. [Unidades de distancia]

Para estudiar la generación de imágenes se debe considerar trazar una línea que surja desde el objeto y se refleje en V con el mismo ángulo que como entra. También se debe trazar una recta que surja desde el objeto, pase por C y regrese por donde vino, una vez que encuentre el espejo. Donde se cruzan ambas rectas, es que se genera la imagen. Utilizando principios básicos de trigonometría es posible apreciar las relaciones establecidas en las Ecuaciones 3.7, a 3.9, para la generación de imágenes.

$$\text{Tan}\theta = \frac{h}{p} = -\frac{h'}{q} \quad \text{Ecuación 3.7.}$$

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p} \quad \text{Ecuación 3.8.}$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \quad \text{Ecuación 3.9.}$$

Si se considera la posición del objeto muy lejos, con $P \rightarrow \infty$, se llega a que $q = R/2$. A dicha distancia, se le llama foco del espejo. La ubicación de la imagen formada depende de la posición del objeto. En el caso de que el objeto se ubique entre el infinito y el centro de curvatura, la imagen se genera en el foco cuando el objeto está muy lejos y se desplaza hasta el centro de curvatura, en la medida que el objeto se acerca al espejo. La imagen es de menor tamaño que el objeto y es invertida. Como se representa en la Figura 3.25.

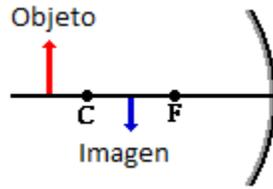


Figura 3. 25 Representación de objeto colocado detrás del centro óptico[34]

Dado que el sol se encuentra relativamente lejos del espejo, se considera que su imagen se forma en el foco mismo. Como ya se comentó anteriormente, se utiliza la misma idea propuesta por Fresnel para desarrollar lentes convergentes compactos, pero para fabricar espejos convergentes.



Figura 3. 26 (Izquierda) Hombres encendiendo una antorcha con un espejo Fresnel parabólico. 1997 (Derecha) Colector solar a base de espejos Fresnel Lineales, AREVA. [35][36]

3.6.2. Óptica y Diseño de colector Fresnel Lineal

Debido a que el sol se desplaza de este a oeste durante el día, y de norte a sur y de regreso durante el año, se hace necesario orientar adecuadamente el colector y sus espejos. En definitiva se hace necesario incluir sistemas de seguimiento que permitan asegurar que el sol será proyectado en el objetivo deseado. Una alternativa para lograr dicho objetivo sería la utilización de un espejo Fresnel fijo, girando completamente en torno al objetivo (utilizando un espejo como el indicado en la Figura 3.27.). Este sistema de seguimiento resulta similar al utilizado en colectores parabólico, como se describe en la Figura 3.28.

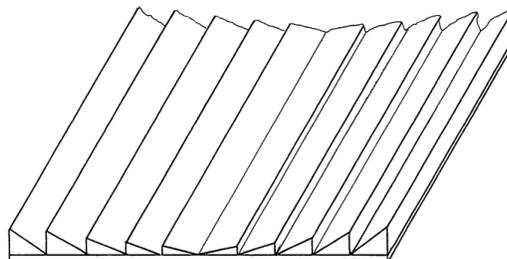


Figura 3. 27. Espejo Fresnel fijo, diseño de Karl Ricks y Bernd Fausten [36]

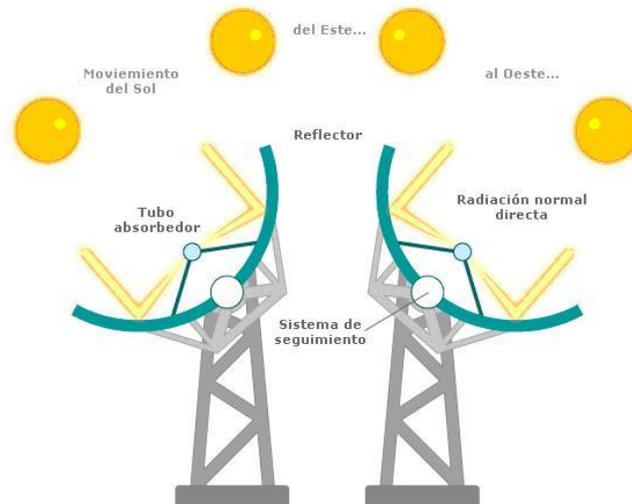


Figura 3. 28. Sistema de seguimiento para colectores parabólicos[24]

Sin embargo, dichos sistemas requieren mayor resistencia a los esfuerzos que genera el viento sobre el colector y su sistema de seguimiento. Una alternativa ampliamente utilizada para realizar el seguimiento solar es la de colocar espejos planos o sutilmente cóncavos uno al lado del otro, como representados en la Figura 3.29. Dado que la imagen del sol se genera cercano al punto focal equivalente, de cada espejo, es necesario rotar cada espejo de forma individual (no toda la estructura como en la situación anterior). Dado que cada espejo está a una distancia distinta del absorbedor, se hace necesario decidir por una de las siguientes alternativas:

- Utilizar todos los espejos planos.
- Utilizar todos los espejos cóncavos, con igual radio de curvatura.
- Utilizar la mitad exterior de los espejos con concavidad idéntica, y los espejos interiores planos.
- Utilizar espejos cóncavos, con distancia focal ajustada para cada espejo.

Como es de esperar los espejos planos no alcanzan el mismo rendimiento de los espejos cóncavos, y utilizar espejos con distintas concavidades para cada sección aumenta el rendimiento del colector, pero también sus costos. Las alternativas más utilizadas son las de utilizar todos los espejos con igual radio de curvatura o utilizar los espejos exteriores cóncavos y los espejos cercanos al receptor con superficie plana. [38]

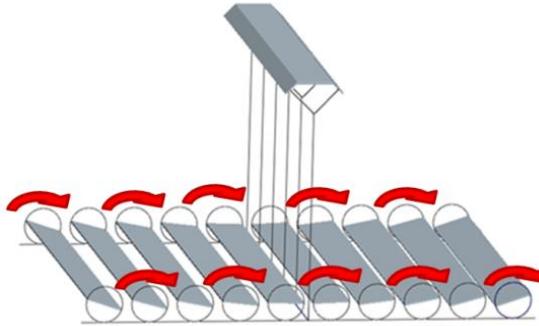


Figura 3. 29. Espejos de un colector Fresnel con seguimiento individual, Referencia [39] con descripción adicional

Es posible utilizar las coordenadas geográficas y horarias para determinar la inclinación de cada espejo para un apropiado seguimiento. Para presentar dicho cálculo se utiliza la nomenclatura presentada en la Tabla 3.10 y descrita gráficamente en la Figura 3.30:

Tabla 3. 10. Nomenclatura para identificar los ángulos de incidencia sobre los reflectores

Angulo	Descripción
Elevación solar	Ángulo entre la superficie horizontal y el vector que señala al sol desde el punto de referencia
Azimut	Ángulo entre el sur y el vector del sol proyectado sobre la superficie horizontal.
Inclinación	Ángulo entre la superficie del espejo y la superficie horizontal.
Orientación	Ángulo formado entre el eje de rotación de los espejos y el sur.

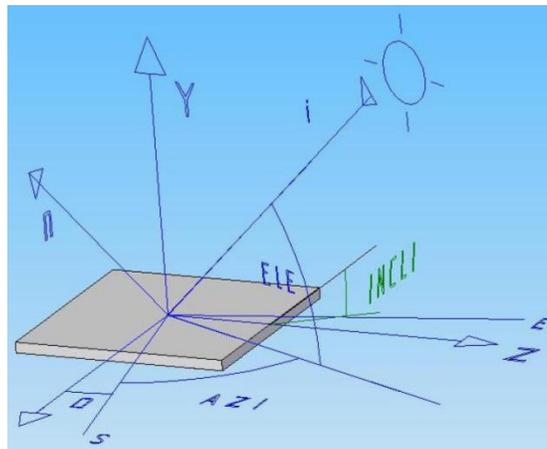


Figura 3. 30 Descripción gráfica de los ángulos utilizados.[39]

Se considera que el azimut toma valores entre -180 y 180° , siendo negativo en la región Sur-Este-Norte, y positivo en dirección Sur-Oeste-Norte. Con lo cual se procede a definir el vector de incidencia solar \vec{i} , referente a la posición del sol:

$$\vec{i} = \begin{bmatrix} \cos(Ele) * \cos(Orientacion - Azi) \\ \sin(Ele) \\ \cos(Ele) * \sin(Orientacion - Azi) \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 3.10.}$$

Se considera la orientación como el ángulo formado entre la recta determinante del ancho del colector y la orientación sur, con valores positivos hacia el oeste. Luego la posición solar se define a partir de las Ecuaciones 3.11 a 3.14.

Ángulo diario: es el arco del ecuador celeste comprendido entre el meridiano del lugar y el círculo horario del sol.

$$Adia = \frac{2 * \pi(Dia - 1)}{365} \quad \text{Ecuación 3.11.}$$

Declinación solar: ángulo formado entre el vector Tierra-Sol y el plano ecuatorial celeste, variando desde $-23^{\circ}27'$ y $23^{\circ}27'$ en los solsticios de verano e invierno respectivamente.

$$D_{ec} = 57.2958[0,006918 - 0,399912 \cos(Adia) + 0,070257 \sin(Adia) - 0,006758 \cos(2Adia) + 0,000907 \sin(2Adia) - 0,002697 \cos(3Adia) + 0,00148 \sin(3Adia)] \quad \text{Ecuación 3.12.}$$

Ecuación del tiempo: describe la diferencia entre la longitud del día terrestre y la longitud del día solar (variable durante el año).

$$E_t = 229.18[0,000075 + 0,001868 \cos(Adia) - 0,032077 \sin(Adia) - 0,014615 \cos(2Adia) - 0,04089 \sin(2Adia)] \quad \text{Ecuación 3.13.}$$

Hora solar: hora solar verdadera.

$$H_{sol} = H_{loc} - H_{luz} + \frac{4}{60}(L_{est} + L_{ongi}) + \frac{E_t}{60} \quad \text{Ecuación 3.14.}$$

Donde Hloc, representa la hora media local, Hluz la corrección de hora solar para ahorrar electricidad de día con el desfase horario (-1 entre mayo y agosto, +1 entre septiembre y abril). Las variables representan la longitud del meridiano estándar E(+) y O(-) respecto a Greenwich, y L_{ongi}, la latitud local.

El ángulo horario se trabaja en radianes, con 15° por hora, y valores positivos entre el amanecer y el medio día, negativos para la tarde.

$$A_{hor} = \frac{(12 - H_{sol})15\pi}{180} \quad \text{Ecuación 3.15.}$$

Es posible obtener así la elevación solar (Ele), es decir la distancia angular entre el horizonte y la posición del sol. Se toma Lat como la latitud local.

$$Ele = \text{ArcSin}[\sin(D_{ec}) * \sin(Lat) + \cos(D_{ec}) * \cos(Lat) * \cos(A_{hor})] \quad \text{Ecuación 3.16.}$$

Se procede a definir el Azimut solar (radianes), como la distancia angular entre el sur y la proyección del sol sobre el horizonte.

$$Azi = \arccos\left(\frac{\sin(Ele) \sin(Lat) - \sin(D_{ec})}{\cos(Ele) \cos(Lat)}\right) \quad \text{Ecuación 3.17.}$$

Se considera que pasado el medio-día solar $Azi = -Azi$

Para realizar el dimensionamiento geométrico del colector se utiliza una proyección en 2D del vector de incidencia, el vector se coloca sobre el plano normal al eje de seguimiento de los espejos.

$$\vec{i}_{2D} = \begin{bmatrix} \cos(Ele) \cos(Orientación - Azi) \\ \sin(Ele) \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 3.18.}$$

Para proceder a determinar la inclinación de cada espejo se debe determinar su distancia al centro del equipo y la altura del receptor. Para determinar la separación entre espejos se debe considerar el sombreado y bloqueo entre reflectores, como se indica en la Figura 3.31.

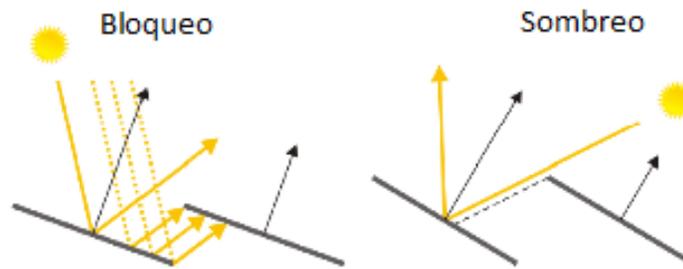


Figura 3. 31. (Izquierda) bloqueo a la reflexión de un espejo sobre otro, (Derecha) sombra de un espejo sobre otro.[41]

Dichas interferencias son difíciles de eliminar cuando el sol se coloca en ángulos de incidencia bajos o muy altos, con un mínimo aceptable entorno 25° y un máximo a 155° . [16] En primera instancia se debe calcular la altura del absorbedor, como ya se comentó, se coloca a una altura correspondiente al foco del espejo más alejado. Se busca que la relación entre altura y distancia horizontal al espejo más alejado r_n/h este entre 0,9 y 1,2, donde r_n es la distancia horizontal entre el centro del colector y el centro del espejo más alejado.

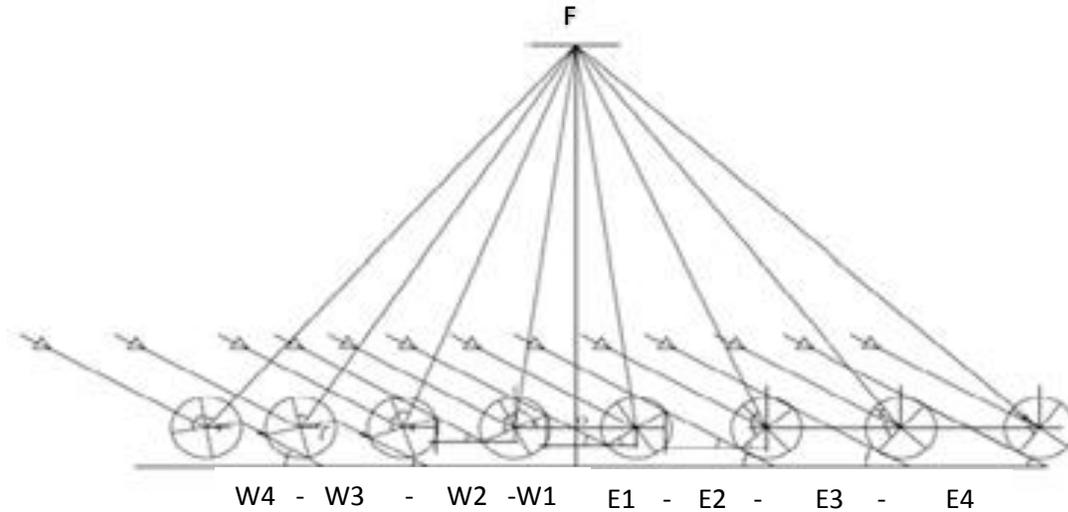


Figura 3. 32. Esquema grafico del colector y distancias.[41]

Se mantiene la simetría entre los espejos a cada lado del centro del colector, y se utiliza la Ecuación 3.19 para determinar la distancia D_0 entre los centros de los espejos centrales.

$$D_0 = 0,5 * W * \left[\cos A1 + \cos A3 + \frac{\sin A1 + \sin A3}{\tan \theta_z} \right] \quad \text{Ecuación 3.19.}$$

El vector de reflejo de radiación solar se puede calcular utilizando la Ecuación 3.20:

$$\vec{r}_{2D} = \begin{bmatrix} r_{2Dx} \\ r_{2Dy} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{(X_t - X_E)^2 + (Y_t - Y_E)^2}} \begin{bmatrix} X_t - X_E \\ Y_t - Y_E \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 3.20.}$$

Donde X_t, Y_t representan la posición del absorbedor y X_E, Y_E la posición del reflector de acuerdo a cualquier sistema de referencia con X, Y normales al eje de orientación de los espejos.

Luego se tiene que W es el ancho del espejo [metros], y θ_z es el ángulo zenit límite, libre de sombras o bloqueo. $A1$, es el ángulo de inclinación del espejo cercano al sol. $A2$, el ángulo entre la horizontal y la recta que se forma al unir los extremos cercanos de los dos espejos centrales. $A3$, el ángulo de inclinación del espejo alejado del sol. $A4$, el ángulo entre el espejo y el rayo reflejado hacia el absorbedor. [41]

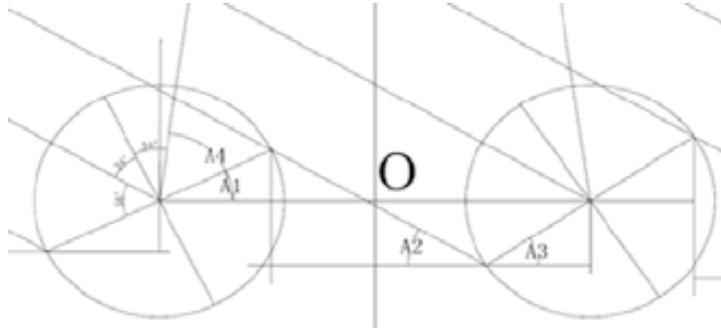


Figura 3. 33. Descripción de ángulos para la Ecuación 3.21. [42]

Luego se calcula la variable auxiliar $r_1 = D_0/2$, donde r_1 representa la distancia entre el centro del espejo central y el centro O del colector [metros]. Como no se conoce exactamente el ángulo A_4 , se calcula utilizando $\arctan\left(\frac{h}{r_1}\right)$, lo cual da lugar a un ciclo iterativo. Se comienza con r_1 valiendo W , y se cicla hasta lograr un valor estable.

Una vez encontrado r_1 , se procede a calcular la distancia entre el espejo recién calculado y el siguiente. Para lo cual se utilizan las Ecuaciones 3.21 y 3.22.

$$D_1 = 0,5 * W * \left[\cos A_3 + \cos A_4 + \frac{\sin A_3 + \sin A_4}{\tan \theta_z} \right] \quad \text{Ecuación 3.21.}$$

$$r_2 = r_1 + D_1 \quad \text{Ecuación 3.22.}$$

Donde D_1 es la distancia entre los centros del espejo recién calculado y el por calcular, r_2 es la distancia entre el centro del colector y el centro del espejo que se está calculando. A_3 corresponde a la inclinación del espejo cercano al sol, y A_4 la inclinación del espejo alejado del sol. Nuevamente se utiliza $\arctan\left(\frac{h}{r_2}\right)$, por lo cual se repite el procedimiento del primer espejo. Se repite el procedimiento hasta cubrir la distancia de cada espejo. Finalmente se verifica que la distancia del espejo más alejado dividido por la altura del absorbedor (r_n/h) siga estando entre 0,9 y 1,2, de lo contrario se deben recalculan las distancias.

Una vez definida la posición de cada reflector, se calcula la inclinación del mismo de acuerdo a tres escenarios, los cuales son descritos en la Tabla 3.11.

Tabla 3. 11. Escenarios considerados al estudiar el bloqueo y sombreado entre espejos.

Escenario	Descripción	Considérese
A.	La proyección lineal del sol esta entre el reflector y el absorbedor	Medio día, si orientación 0° Ecuador en equinoccio, orientación 90°
B.	La proyección lineal del sol está más allá del tubo receptor	Atardecer, si orientación 0° Ecuador en solsticio, si orientación 90°
C.	El reflector se ubica entre las proyecciones del receptor y el sol	Amanecer, si orientación 0° Ecuador en solsticio, si orientación 90°

A. La proyección del sol está entre el reflector y la proyección del absorbedor.

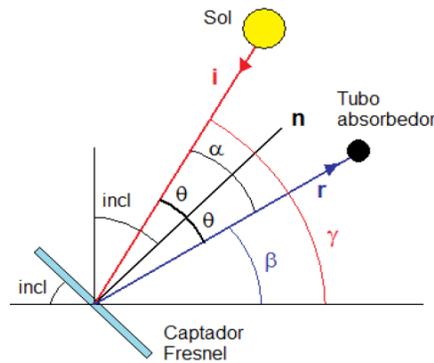


Figura 3. 34. Caso 1 de la inclinación[39]

$$incl = \frac{\pi}{2} - \beta - \theta \quad \text{Ecuación 3.23.}$$

Se replica el procedimiento grafico para los escenarios B y C.

Teniendo los ángulos de inclinación, y la distancia entre espejos es posible calcular la fracción sombreada de cada espejo debido a la fila contigua, utilizando la diferencia entre vectores y el teorema del seno para estimar la sección sombreada. Así se puede calcular la sombra cuando Filas contiguas de espejos, i y j, presentan inclinación positiva.

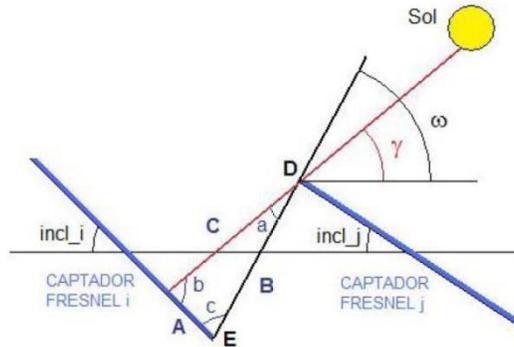


Figura 3. 35. Descripción grafica para el cálculo de sombras en el caso 1 [39]

Se utiliza el sistema de coordenadas centrado en el centro del colector y construyen los vectores, E y D, para las puntas de cada espejo.

$$E = \begin{pmatrix} X_E(i) + \frac{ancho}{2} \cos(incl_i) \\ -\frac{ancho}{2} \sin(incl_i) \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 3.24.}$$

$$D = \begin{pmatrix} X_D(j) - \frac{ancho}{2} \cos(incl_j) \\ \frac{ancho}{2} \sin(incl_j) \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 3.25.}$$

Se genera el vector $\overrightarrow{ED} = \vec{D} - \vec{E}$, del cual se saca el módulo $|\overrightarrow{ED}|$ para conocer la longitud del lado B del triángulo. Se calcula el ángulo ω como el ángulo entre \overrightarrow{ED} y la horizontal, arco-tangente de las componentes verticales/horizontales. Mientras que γ sea menor que ω habrá sombra en la fila i. Luego con el teorema del seno se calcula la sombra, dado que se conocen las componentes necesarias para resolver el sistema:

$$a = \omega - \gamma \quad \text{Ecuación 3.26.}$$

$$b = \text{incli}_i - \gamma \quad \text{Ecuación 3.27.}$$

Así:

$$\frac{A}{\sin(a)} = \frac{B}{\sin(b)} = \frac{C}{\sin(c)} \quad \text{Ecuación 3.28.}$$

$$A = B \frac{\sin(a)}{\sin(b)} \quad \text{Ecuación 3.29.}$$

Luego el área sombreada equivale al largo del reflector multiplicado por A.

Se puede replicar el procedimiento en el casos de que las filas i y j presenten inclinaciones distintas.

Teniendo la dimensión de la zona sombreada se calcula el factor de sombras propias, para lo cual se utiliza la Ecuación 3.30:

$$f_{\text{sombra}} = 1 - \frac{\text{area sombreada}}{\text{area total}} \quad \text{Ecuación 3.30}$$

3.6.3. Ajuste Óptico y Modelo Térmico

En las secciones anteriores se ha descrito el funcionamiento de los principales componentes del colector solar, a continuación se presenta la metodología que permite predecir cuanta energía se podrá transferir al colector. Para este procedimiento se debe tener en consideración que entre mayor sea el recorrido del fluido a lo largo del sistema de colección mayor energía podrá recibir, pero también es importante considerar que recorridos muy largos o temperaturas elevadas aumentan las pérdidas en el circuito.

Existen una serie de modelos que permiten predecir la energía que el colector podrá capturar y transferir al fluido de trabajo. En primera instancia, es necesario conocer la calidad del recurso con el cual se está trabajando, para esto se mide la irradiación normal directa, DNI por sus siglas en inglés (Direct Normal Irradiance). La medida de DNI indica la radiación por unidad de superficie normal a la dirección de incidencia sobre una superficie, y se mide en Watts/m². Una primera aproximación para estimar la energía disponible es la de considerar la superficie de reflectores.

Conociendo el número de colectores, la superficie horizontal de cada colector, el largo y ancho horizontal de cada espejo, la separación entre ellos y el número de reflectores por

colector, es posible obtener una primera aproximación de la superficie disponible. Se consideran las ecuaciones 3.31 a 3.33.

$$A_{refl} = N_{col} * N_{refl/col} * L_{refl} * W_{refl} \quad \text{Ecuación 3.31.}$$

$$A_{Total} = N_{col} * N_{refl/col} * L_{refl} * (W_{refl} + S) \quad \text{Ecuación 3.32.}$$

$$\vartheta = \frac{A_{refl}}{A_{total}} \quad \text{Ecuación 3.33.}$$

Donde se tiene que A_{refl} es la superficie cubierta por reflectores, N_{col} y $N_{refl/col}$ corresponde al número de colectores y número de reflectores por colector. Se considera que L_{refl} y W , como el largo y ancho de cada reflector, y S como la separación entre ellos. A_{Total} Corresponde al área total a asignar en colectores y ϑ la relación entre el área cubierta por reflectores y el área total.

Se debe considerar que la radiación útil es la que incide sobre una superficie perpendicular a los rayos, sin embargo, como los reflectores son inclinados para reflejar sobre el foco del colector se genera una pérdida por angulación. Así la superficie normal a los rayos presenta una superficie menor a la de cada reflector, como se observa en la Figura 3.36. De esta forma, la superficie útil por espejo se calcula utilizando la Ecuación 3.34, donde el subíndice n se refiere al n-ésimo espejo.

$$A_{refl, n} = W * \text{Cos}(\delta_n) \quad \text{Ecuación 3.34.}$$

Con $\text{Cos}(\delta_n)$ el factor de pérdida óptica para la fila n.

Se consideran dos casos para el cálculo de δ , inclinación positiva y negativa.

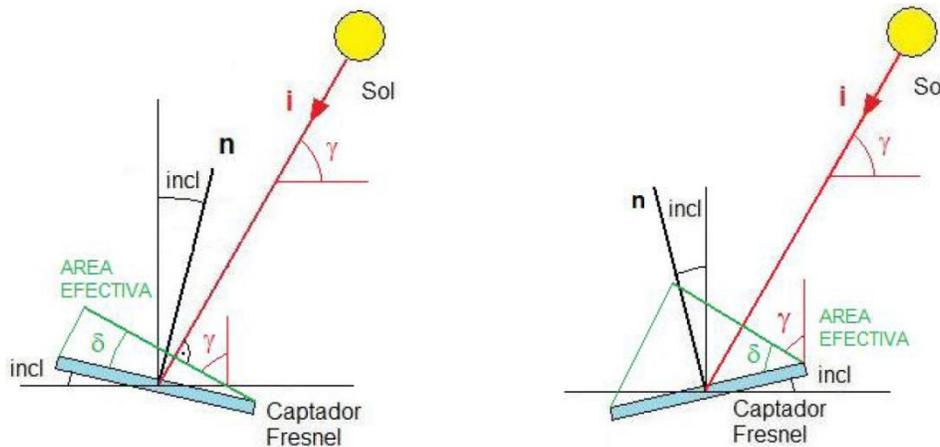


Figura 3.36. Cálculo de δ con inclinación positiva (Izquierda) e inclinación negativa (Derecha).[39]

En el caso de la inclinación positiva se resta γ , y en el caso de inclinación negativa se suma:

$$\delta = \frac{\pi}{2} \pm \gamma - incl \quad \text{Ecuación 3.35.}$$

Se debe descontar la absorción por parte de reflectores y cubierta del receptor en caso de tenerla. Junto con las pérdidas ya mencionadas, se debe considerar que los reflectores no presentan reflexiones especulares perfectas, o del 100%, se debe entender que hay cierto grado de reflexión difusa en la cual se pierde energía. Finalmente se debe tener presente que no toda la energía irradiada en el receptor es absorbida por él, y los cilindros de por sí irradian calor al estar sobre el 0 absoluto.

Enunciando las pérdidas antes mencionadas, se procede a describir los flujos de calor y las pérdidas térmicas, resumiendo el modelo térmico de acuerdo a las Ecuaciones 3.36 a 3.40 [42]:

También se puede resumir la energía irradiada como:

$$IA_{fila\ real} = IA_{fila} * \cos(\delta_{fila}) * (\rho_{refl1} * f_{ens1}) * (\rho_{ref} f_{ens2}) \quad \text{Ecuación 3.36.}$$

Dónde:

- A_{fila} : Área de la fila
- $\cos(\delta_{fila})$: Factor de pérdidas ópticas
- f_{ens1} : Factor de ensuciamiento de los reflectores.
- f_{ens2} : Factor de ensuciamiento del reflector secundario

Luego, la radiación recibida por el receptor será del orden indicado por la Ecuación 3.37:

$$IA_{total} = \sum_{j=1}^n IA_{fila\ j} * f_{sombra\ j} \quad \text{Ecuación 3.37.}$$

Se debe corregir las pérdidas de calor debidas a la convección y conducción en el receptor $q_{perdido} \left[\frac{W}{m} \right]$. Para esto se suele utilizar las fórmulas de la Ecuación 3.38 para tubos al vacío, y Ecuación 3.39 para bajas temperaturas y receptores no vaciados.

$$\bullet \quad q_{perdido} = C_1 T_{tubo} + C_4 T_{tubo}^4 \quad \text{Ecuación 3.38.}$$

$$\bullet \quad q_{perdido} = C_1 T_{tubo} + C_4 T_{tubo}^3 \quad \text{Ecuación 3.39.}$$

Ponderando el calor absorbido por las dimensiones del colector se obtiene el calor transferido al fluido de trabajo, Ecuación 3.40.

$$\bullet \quad Q = q * A_{tubos} - q_{perdido} * Largo_{tubos} \quad \text{Ecuación 3.40.}$$

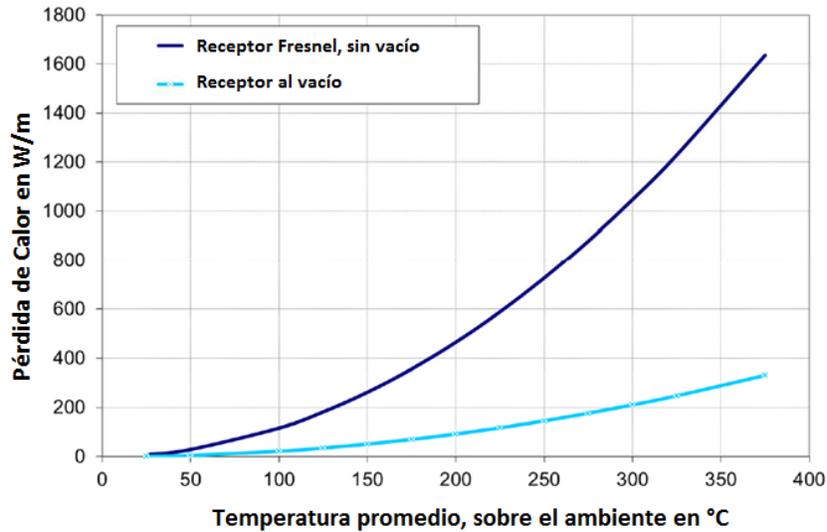


Figura 3.37. Pérdidas por convección y conducción del fluido con el ambiente. [40]

Finalmente, se define el rendimiento óptico como el calor aprovechado respecto al irradiado por los reflectores, también calculable en el caso de conocer las temperaturas de entrada y salida del fluido al equipo, de acuerdo a la Ecuación 3.41.

$$\eta_{optico} = \frac{\dot{Q}_{neto}}{IA} = \frac{\dot{m}C_p(T_{in} - T_{out})}{IA} \quad \text{Ecuación 3.41.}$$

4. Metodología

4.1. Presentación de la Metodología

Para cumplir los objetivos propuestos en este trabajo, se define la siguiente metodología:

- Se recopila información sobre el funcionamiento y diseño general de un colector Fresnel.
- Se clasifican los componentes en 2 categorías. Componentes específicos del colector Fresnel y componentes de un sistema solar Fresnel para calor de procesos
- Se estudian los procesos de manufactura y los materiales necesarios para fabricar los componentes del colector. Junto con esto se identifican los principales fabricantes de componentes a nivel mundial.
- Se analiza brevemente la estructura empresarial de los fabricantes a nivel mundial, identificando procesos productivos ya instalados que le permiten ingresar al mercado de productos solares
- Se identifica la relación entre los proveedores internacionales de productos solares y la industria nacional.

- f. Se estudia la industria nacional, identificando maquinaria y procesos de manufactura actualmente utilizados
- g. Se identifica la brecha entre la tecnología existente a nivel nacional y la requerida para producir componentes localmente.
- h. Se proponen medidas para acortar la brecha actualmente existente.
- i. Se estudia un sistema solar utilizando elementos nacionales, para de tal forma evaluar el beneficio de producción local.

4.2. Comprensión del Funcionamiento del Colector Fresnel

Para estudiar el funcionamiento e identificar los componentes del colector y sistema solar, se revisan artículos científicos, páginas web y catálogos disponibles. Los principales documentos se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1. Fuentes estudiadas para caracterizar el colector

Titulo
Parabolic o Fresnel?
Principal Focal Length
Fresnel mirror and method for the production
Linear Fresnel Solar Concentrator
Optical Design of Linear Fresnel Reflector Concentrator
Transferencia de Calor
Strategic Energy Technology Plan
Advances in Concentrating Solar Power Collectors: Mirrors and Solar Selective Coatings
Spectra-Physics, Metallic Reflector Coatings Catalogue
Design and analysis of Rooftop Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator
Thermal Performance Prediction of a trapezoidal Absorber for Linear Fresnel Reflector
Selective Surface for solar-thermal conversion
Receptor para central solar con espejos longitudinales
Technical Data, Industrial Solar linear Fresnel Collector LF-11
Análisis Técnico-Económico de una central solar termoeléctrica
Calculo, diseño y análisis de una central termo solar de colectores cilindro-parabólicos operado por sales fundidas.
Topic report wp2 Solar Thermal Collectors Concentrating/tracking collector component characterization

A partir del conocimiento adquirido en estos reportes es posible diseñar un modelo simple que permite definir la cantidad de materiales necesarios para la confección de un colector solar Fresnel a nivel nacional. Cabe mencionar que en este trabajo el objetivo no es diseñar un colector optimizado para producción energética, si no que Se busca definir la cantidad de material requerida por módulo.

4.3. Clasificación de Componentes

El presente trabajo hace una distinción entre los componentes específicos del colector Fresnel y los componentes que permiten transportar y utilizar la energía generada por el colector. La distinción se realiza debido a que el mayor potencial de innovación se encuentra en los componentes del colector Fresnel. De esta forma se clasifican los elementos del colector acorde a la clasificación presentada en la Tabla 4.2:

Tabla 4. 2. Clasificación para los componentes

Componentes del sistema solar para calor de proceso	Componentes del colector
Fluido térmico	Estructura y cubierta receptor
Bombas	Espejos primarios
Válvulas	Reflector secundario
Tanques de expansión	Cilindro absorbedor
Tanques de almacenamiento térmico	
Intercambiadores de calor	

4.4. Estudio de Procesos de Manufactura e Industria Internacional

Para comprender los principales procesos de manufactura y los materiales requeridos se procede a revisar artículos científicos, catálogos técnicos y páginas web de diferentes fabricantes. Además, es relevante mencionar que análisis similares se han realizado en países del Norte de África y en la India, por lo que estos estudios se utilizan como base para el presente trabajo.

Se aprovecha especialmente reportes confeccionados por instituciones de investigación, economía y gremios que presentar reportes de mercado. Como el estudio en el mercado de bombas presentado por Elsevier hacia el año 2010-2011.

4.5. Estructura de Negocios de las Principales Industrias Internacionales

Se procede a estudiar las principales industrias comercializando productos para el colector Fresnel, tomando especial atención en los rubros iniciales de dichas empresas. Al conocer los orígenes de los proveedores es posible buscar sinergias dentro del contexto nacional.

Una vez identificadas las grandes industrias se busca su relación con Chile, buscando respuestas a las preguntas:

- ¿Tiene oficina o representante nacional?
- Si no tiene oficina, ¿Es proveedor de alguna empresa nacional?

Para resolver dichas dudas se procedió a indagar en la página web de cada institución, en el caso de no presentar sucursales se procede a contactar vía correo electrónico a la institución y consultar en modo de entrevista.

4.6. Industria Local

Para caracterizar la industria se sigue el procedimiento descrito a continuación:

- a. Búsqueda de industrias locales en base de datos de SOFOFA. Para identificar la presencia de industria se utilizan palabras claves descritas en la Tabla 4.3, Columna 1. Para acotar el tiempo de contacto, los resultados obtenidos de cada búsqueda fueron filtrados considerando los criterios descritos en la Tabla 4.3, columna 2.
- b. Se extiende la lista de industrias nacionales, utilizando el conocimiento de cómo los proveedores a nivel internacional ingresaron en el rubro. Esto se logra al buscar instituciones en el mismo rubro original que las industrias extranjeras o identificando la industria que ocupa maquinaria similar a la requerida por los componentes.
- c. Contacto con industria internacional, indicando su relación con el mercado nacional.
- d. Realizar búsquedas en internet, al modo presentado en la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3. Ejemplos de búsquedas realizadas.

Palabras clave	Criterios de filtrado
Vidrios y aluminio	Se descartaron empresas que solo entregasen número de teléfono
Vidrios	
Luminaria	Se descartaron empresas que no presentaran página web
Acero	
Estructura	Se descartaron casas comerciales, no fabricantes
Estanques de acero	Se destacaron empresas solicitadas por los profesores
Calderas industriales	
Intercambiadores de calor	Se destacaron empresas internacionales con presencia nacional
Rodamientos	
Rodamientos y descansos	
Fluido térmico	

Una vez contactada la industria nacional se consulta por:

- a. La capacidad productiva de sus instalaciones nacionales.
- b. Los procesos y equipos disponibles en las instalaciones.
- c. Clientes y proveedores de la institución, a modo de extender la lista de empresas.
- d. Su contacto con industrias internacionales.
- e. Ensayos y certificados de calidad de sus productos de acuerdo a las condiciones de diseño.

4.7. Análisis FODA

Una vez estudiada la industria nacional y su capacidad productiva, se procede a realizar un análisis de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (análisis FODA) para la fabricación de cada componente a nivel nacional.

El objetivo de la realización de este análisis es el de determinar los principales agentes que facilitan o dificultan la instalación del proceso productivo a nivel nacional.

Se procede a tabular las ventajas, desventajas, oportunidades, amenazas, para cada componente, considerando el levantamiento de información observado durante el transcurso del proyecto.

Se espera analizar cualitativamente si se considera favorable para la cadena de producción y la nación, la fabricación de componentes para el colector a nivel nacional o si se presentan debilidades severas para la producción.

4.8. Propuesta de Medidas

Al recopilar toda la información descrita anteriormente, es posible proponer medidas que permitan impulsar las oportunidades identificadas en el análisis FODA. Dentro de las medidas tecnológicas, se procede a realizar evaluaciones económicas para estudiar la factibilidad de implementarlas. Evaluaciones en las cuales se considera la ganancia para la empresa al dedicar parte de su producción a la fabricación de estos equipos específicos, o el ahorro que vería la empresa en caso de implementar las medidas recomendadas.

4.9. Estudio de Sensibilidad Económica

Para complementar el proyecto se realizó un estudio de cómo el sistema varía al modificar las propiedades de sus componentes. Inicialmente se desarrolló un modelo térmico para describir el flujo energético en el colector, sin embargo, se optó por reemplazar el modelo por el software Solar Advisor Model (SAM), desarrollado por NREL. Se seleccionó esta herramienta debido a que ha sido revisada múltiples veces por múltiples profesionales y académicos en el mundo, alcanzando una mayor confiabilidad que un modelo desarrollado en corto plazo.

4.9.1. Breve Descripción del Software de Simulación

El software SAM permite variar diversos parámetros, facilitando la búsqueda de combinaciones que optimicen la economía y tecnología del sistema propuesto. El Software está montado sobre el motor de simulación TRNSYS, diseñado para estudiar energías renovables. Permite simular diversas tecnologías, con el fin de planificar y evaluar programas de investigación y desarrollo, incluyendo estimaciones de costos y rendimientos.

El programa tiene un profundo enfoque a tecnologías solares fotovoltaicas, térmicas y de calor, y permite comparar los costos entre centrales térmicas convencionales y no-convencionales. Al completar la simulación el programa genera informes de rendimiento y métricas financieras en tablas y gráficos.

El sistema modular de TRNSYS ha sido pre-construido e integrado en SAM, de forma que no se hace necesario para el usuario comprender como opera TRNSYS para poder realizar un análisis. Se menciona que los módulos de TRNSYS simulan tres componentes modulares del sistema:

- **Campo Solar:** El módulo toma datos de entrada de clima y radiación, permite calcular la cantidad de energía que incide sobre el campo solar y la temperatura que se lograra alcanzar.

- Almacenamiento y despacho: Este módulo permite realizar un seguimiento de la energía inyectada y extraída del almacenamiento térmico. Determina el sistema de almacenamiento y controles de despacho.
- Planta de poder: Realiza la simulación de como la energía térmica se transfiere para generar energía eléctrica. Considera la posibilidad de incorporar sistemas auxiliares en base a combustibles fósiles.

Cada módulo posee parámetros de entrada y salida, junto con parámetros invariables. Las salidas de cada módulo se actualizan de forma continua en la medida que se altera algún parámetro de entrada. Adicionalmente los módulos están entrelazados, de modo que la salida de un módulo es entrada para otro, facilitando la generación de sistemas dependientes.

El sistema utiliza datos de un año meteorológico tipo como datos de entrada, el año es elaborado a partir de datos de valores hora a hora de radiación solar y condiciones climáticas. Se seleccionan los datos de meses reales ya pasados, seleccionando los datos más representativos.

4.9.2. El Procedimiento de Simulación

Para utilizar SAM se comienza por seleccionar la tecnología y financiamiento que se empleará para el proyecto. Dado que los modelos de SAM para tecnología Fresnel están orientados a generación eléctrica y no se puede trabajar solo el calor de proceso se seleccionó generación directa de vapor, sin modelo económico (al no poder excluir los costos de la central de producción eléctrica).

Como se mencionó en la sección anterior, los módulos de SAM se encuentran entrelazados, de modo que se hace necesario generar patrones de control. Así se desarrollaron escenarios base sobre los cuales se varían los parámetros a evaluar, dejando variables pivote como los errores de rastreo, el ensuciamiento y la radiación incidente de diseño.

Se procedió a variar cuatro parámetros representativos del colector:

- Reflectancia utilizando los espejos fabricados nacionalmente, con vidrios importados.
- Pérdidas térmicas en el absorbedor, definidas por sus propiedades de interacción con radiación y características como absorbtividad.

Un parámetro especialmente difícil de estimar corresponde a las pérdidas estimadas, parámetro desde el cual el sistema procede a definir la potencia térmica generada en el campo primario. Para entregarle un parámetro apropiado al sistema se contó con el apoyo de Felipe Cuevas y el Instituto Fraunhofer para utilizar el código desarrollado en su estudio “Linear Fresnel Collector receiver: Heat loss and temperatures”, donde se resuelven las ecuaciones de intercambio térmico para un receptor. Software desde el cual se obtienen los coeficientes U_0 y U_1 del polinomio representativo de perdidas térmicas [W/m].

Se define la apertura del colector de acuerdo a las dimensiones y cantidad de espejos utilizados. El software SAM, al estar diseñado para estudiar proyectos de generación eléctrica, solicita la potencia eléctrica de diseño como parámetro de entrada y presenta como resultado la cantidad de Lazos a utilizar. Dado que las instalaciones CSP-lineales son confeccionadas en lazos de módulos contiguos, se definen lazos con largos de 1 módulo, de esta forma al variar la potencia eléctrica de diseño es posible encontrar una cantidad de módulos constantes.

Una vez definida la cantidad de módulos utilizados el sistema calcula cual es la potencia térmica que entrega el campo solar.

Al obtener los datos de la producción térmica por parte del colector primario es posible confeccionar un flujo de caja utilizando los costos de instalación, operación y mantenimiento encontrados durante el estudio, enfocando la presentación a costos de utilizar componentes nacionales. Completando la presentación de costos no encontrados en el país con información presentada por instalaciones similares en el extranjero.

4.10. Implementación de Productos Nacionales

Para estudiar las implicancias de producir algunos elementos del equipo en Chile se procede a determinar los costos involucrados en la fabricación de un módulo de colector, utilizando los costos encontrados asociados a la fabricación del mismo a lo largo del proyecto.

Finalmente, se compara la potencia y costos entregados por el colector autóctono, con los asociados a utilizar otras fuentes de energía, cuyos costos están definidos principalmente por el precio del combustible en el mercado internacional y su costo de adquisición nacional.

- Electricidad
- Gas Natural
- Combustible Industrial N4
- Carbón

4.11. Comentarios:

Debido a que la mayor parte de este trabajo corresponde a levantamiento de información, se ve limitado a estudiar las empresas e instituciones que se haya logrado identificar. Se considera la posibilidad de que existan otras instituciones a nivel nacional que cuenten con capacidades para producir alguno de los elementos considerados. Así se observa que la identificación de empresas no es representativa de la capacidad productiva a nivel nacional.

Se realizan observaciones sobre metodologías a desarrollar para un análisis profundo de la industria nacional, para lo cual se requiere de un mayor equipo humano de trabajo, y un mayor incentivo para las empresas. Entre las alternativas propuestas se considera el desarrollo de workshops guiados por proveedores de componentes de la clase mundial, líderes en los procesos de manufactura y encuestas con mayor captación de atención.

Considerando que, a nivel país, no se ha desarrollado una cadena de producción debidamente establecida para la fabricación de los distintos componentes y que tampoco se cuenta con las instalaciones o equipos necesarios para debidamente certificar la calidad de los materiales a utilizar, se da lugar a la recomendación de procedimientos para estudiar la calidad de los materiales a producir.

5. Componentes del Colector Fresnel

5.1. Reflectores

5.1.1. Características del Reflector

Como ya se ha descrito, los reflectores tienen la función de concentrar la energía en el receptor central del colector. Aprovechando la concavidad del espejo, se proyecta una imagen real del sol en el receptor, sin embargo no toda la energía solar es reflejada en el espejo, dado que de ella es absorbida por el espejo y parte de la radiación es reflejada de forma difusa al ambiente. Se busca que cada heliostato alcance una reflectancia tan cercana al 100% como sea posible, manteniendo dicha propiedad en el tiempo. Hasta la fecha se han alcanzado reflectancias de hasta 96% con lapsos de vida de hasta 6 años. Para el año 2030 se espera mantener la reflectancia de 95-96% durante toda la vida programada de las instalaciones, 15 a 30 años y para el año 2050 se espera haber alcanzado specularidades de 96-98%.

Entre los otros aspectos a considerar del reflector, destaca la búsqueda por evitar metales pesados en su manufactura, especialmente el plomo utilizado en las pinturas protectoras del reflector. Tampoco se debe olvidar la búsqueda por reducir los costos de manufactura y de mantenimiento del reflector, a modo de hacer de él una tecnología sustentable en el tiempo [43].

El mercado internacional ofrece una extensa variedad de espejos, cada uno con diferentes configuraciones que intentan mantener la reflectancia especular por extensos periodos de tiempo. Para alcanzar dicho objetivo, se colocan capas de distintos materiales una encima de la otra, de esta forma, se protege la superficie reflectante de la degradación que podría producir el ambiente, como indica la Figura. 5.1. [44]

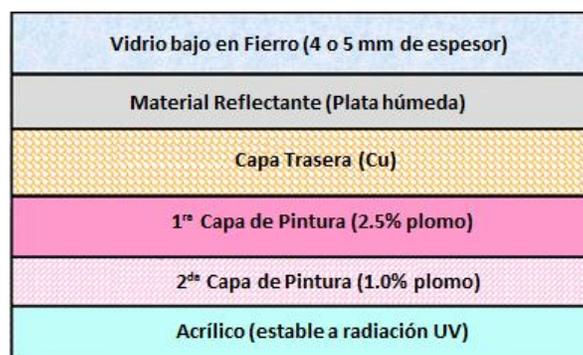


Figura 5. 1 Ejemplo de la arquitectura de un reflector[44]

Como se observa en la Figura 5.1, un espejo solar está compuesto por tres capas básicas, donde cada estrato puede subdividirse en distintos materiales para obtener las propiedades requeridas. Las capas básicas son:

- **Substrato:** la capa mecánica que mantiene la forma del espejo. Suele estar hecho de vidrio, pero también puede ser fabricada a partir de polímeros como PET o metales como el acero o aluminio.
- **Lamina reflectante:** es la capa diseñada para reflejar tanta energía solar como sea posible. Usualmente se utiliza aluminio o plata como material reflectante.
- **Protectores:** Otras capas que protegen al reflector, tal como pinturas, respaldos de cobre o barnices. También se consideran capas adicionales, como coberturas para evitar la deposición de polvo o coberturas de interferencia que protegen al reflector de los efectos de ciertas radiaciones como la ultra violeta.

Usualmente se depositan capas delgadas de metal sobre vidrio bien lustrado. Existen dos familias principales de espejos, a partir de las cuales surgen distintas arquitecturas, cada una con sus propias variaciones y distintos materiales [45].

- **Espejo de primera superficie:** La capa metálica es depositada frente al sustrato, evitando la refracción y absorción en el vidrio. Se sugiere utilizar capas protectoras al utilizar esta tecnología.
- **Espejo de segunda superficie:** La capa metálica es depositada detrás del vidrio, protegiéndolo de la abrasión, oxidación, y otros efectos del clima, pero esta configuración está sujeta a pérdidas por absorción en el vidrio.

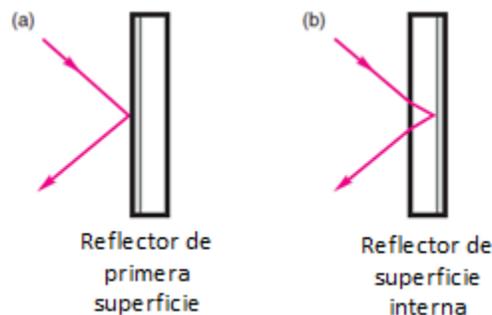


Figura 5. 2. Reflectores de primera y segunda superficie,[45]

En el caso de utilizar espejos de segunda superficie se podría considerar la ley de Snell, que describe como se desvía una onda al pasar de un medio a otro, pero las ecuaciones de Fresnel describen mejor el fenómeno a considerar. Cuando se considera que la luz blanca se compone de fotones a distintas longitud de onda y con polarizaciones distintas, se debe notar que parte de la radiación incidente a la superficie es reflejada, otra es absorbida y otra sección es transmitida, como indica la Figura 5.3.

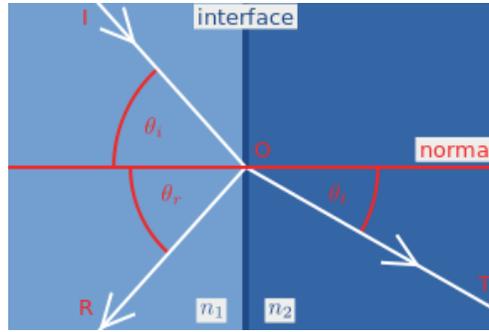


Figura 5. 3. Ángulos referentes a transmisión y reflexión de la radiación incidente [47]

El ángulo transmitido obedece la ley de Snell y el ángulo reflejado θ_r es equivalente al ángulo incidente θ_i . La fracción de energía que es reflejada está dada por la reflectancia o reflectividad del material R, mientras que la energía refractada en el medio está dada por la transmitividad del material T. Cuando se considera que el medio no está magnetizado, la reflectancia se calcula de acuerdo a la polarización de la luz incidente. Para luz de polaridad s R_s y para luz polarizada p R_p .

$$R_s = \left[\frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right]^2 = \left[\frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2}}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2}} \right]^2 \quad \text{Ecuación 5.1.}$$

$$R_p = \left[\frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \right]^2 = \left[\frac{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2} - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2} + n_2 \cos \theta_i} \right]^2 \quad \text{Ecuación 5.2.}$$

Cuando no se considera la absorbancia se observa que $T_s = 1 - R_s$, y $T_p = 1 - R_p$. En el caso de que la radiación no esté polarizada, la reflectividad pasa a equivaler el promedio entre la reflectividad polarizada s y p. En el caso del vidrio se puede apreciar la luz reflejada en la primera y segunda superficie, esto se debe a que la luz se refleja de forma interna un número de veces antes de ser completamente transferida o absorbida, en este caso la reflectividad combinada pasa a ser modelada con la expresión: $2R/(1 + R)$.

La radiación reflejada no solo depende de la polarización, pero también del ángulo de incidencia. Como indica la Figura 5.4.

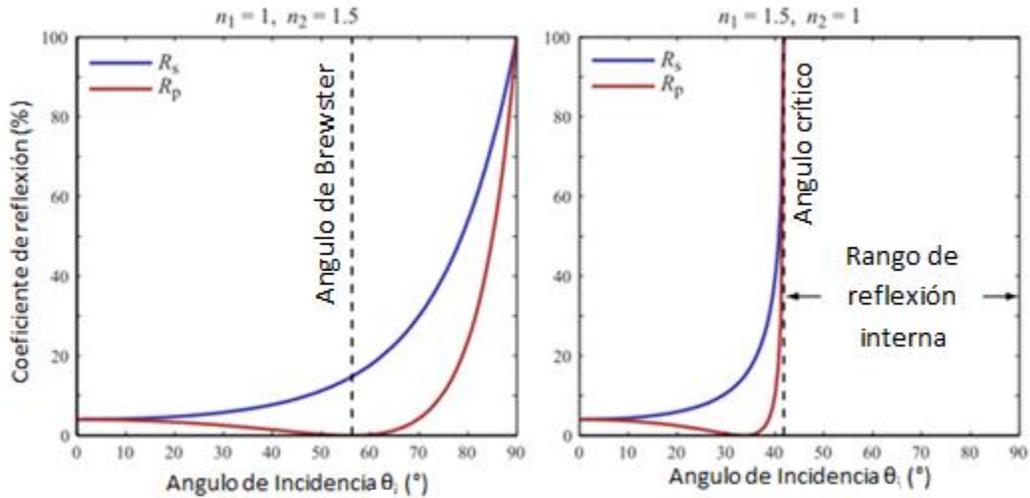


Figura 5. 4. Variación de reflectancia para distintos ángulos de incidencia [48]

Se destaca que para cierto ángulo de incidencia, la reflectancia para la polarización p se reduce a cero y la totalidad de dicha radiación es refractada. También se observa que la existencia de un ángulo que afecta la radiación desplazándose de un medio denso a uno de menor densidad, para ángulos de incidencia mayores que dicho ángulo crítico la totalidad de la radiación es reflejada, este fenómeno se conoce como reflexión interna total.

Errores ópticos: El rendimiento general del colector depende fuertemente de la capacidad de los reflectores de enfocar adecuadamente los rayos sobre el absorbedor, sin embargo es importante destacar que los reflectores no son perfectos, llevando a que surjan errores ópticos. Los errores ópticos surgen debido a cuatro fuentes principales:

- **Error por imperfecciones en el material:** El material con el que se realiza la reflexión tiene una importante injerencia en la calidad de la reflexión dada. En un mundo ideal se cumple a la perfección el principio de reflexión especular, sin embargo en el mundo real surge el concepto de “falta de especularidad” o “reflexión difusa”. Estos fenómenos se originan debido a imperfecciones a nivel microscópico sobre el material. Por esta razón se genera un cono que contiene la mayor densidad de radiación reflejada, se considera que la fracción de radiación reflejada dentro de dicho cono es especular dentro de la tolerancia definida por el cono. En otras palabras, un rayo incidente es reflejado especularmente dentro de un cono, no como otro rayo, como se ilustra en la Figura 5.5.

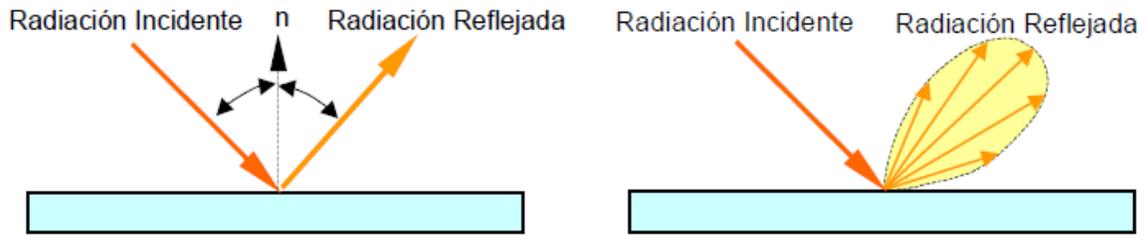


Figura 5. 5. Descripción grafica de reflexión especular (izquierda) y difusa (Derecha).[48]

Dado que la relación geométrica entre el diámetro del sol y su distancia a la tierra hacen que parezca un disco, el cual se subtiende bajo un ángulo de 9.3 mrad, surge que a cada posición en el planeta (iluminada por el astro) le llega radiación desde cada punto en el disco solar, formando un cono visual definido por los mismos 9.3 mrad.

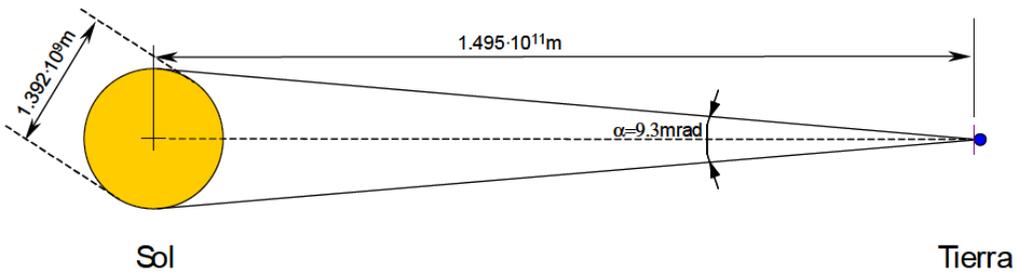


Figura 5. 6. Cono visual del sol desde la tierra[49]

Así sobre cada punto del reflector recibe un cono de radiación, el cual es reflejado especularmente en el rango de algún cono visual definido. El cono reflejado presenta una distribución de intensidad asociada a las limitaciones de los materiales y da un margen de operación para la programación del rastreo.

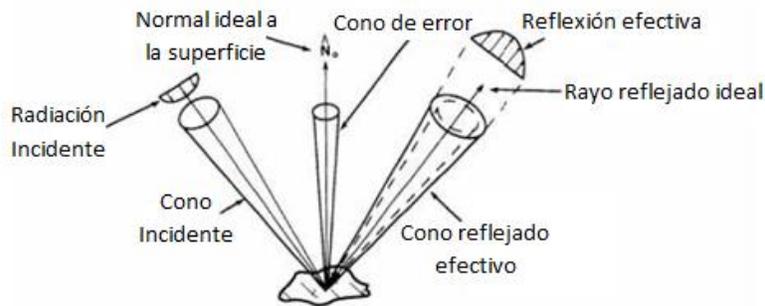


Figura 5. 7. Descripción grafica de las pérdidas de eficiencia óptica debidas al material. [49]

Entre los errores más representativos de los reflectores destacan:

- **Errores globales por contorno de superficie:** La superficie del reflector puede verse deformada debido a fallos en los soportes estructurales del reflector, la acción del viento, la temperatura o la gravedad actuando sobre el reflector. La deformación del

reflector mismo podría cambiar la posición del foco real del reflector, alejando el foco del reflector del foco ideal diseñado.

- **Errores locales de pendiente de superficie:** La manufactura imperfecta, traslado al sitio de colocación, o mal cuidado del reflector desarrolla variaciones en las pendientes locales del receptor (y la correspondiente variación en dirección de la normal, respecto a la ideal).
- **Errores de seguimiento:** Se considera como error de seguimiento a las pérdidas en el sistema que surgen por fallas en el sistema de control de los espejos. Errores que surgen por una programación imperfecta y por el desfase entre el accionamiento discontinuo del sistema motriz del colector y el movimiento continuo del sol. Estos errores podrían darse por la estructura del sistema de seguimiento o por configuraciones inapropiadas del sistema.

En la actualidad, la mejora en electrónica y control, han permitido disminuir radicalmente las pérdidas por errores de seguimiento, caracterizados por movimientos digitales del actuador. Hoy en día la incertidumbre del error de seguimiento se sitúa en $\pm 0,1$ grados, acarreado consigo un error en ángulo de salida de 1,5 mrad aproximadamente. Como presenta en su proyecto de título “Gavilán”, Figura 5.8.

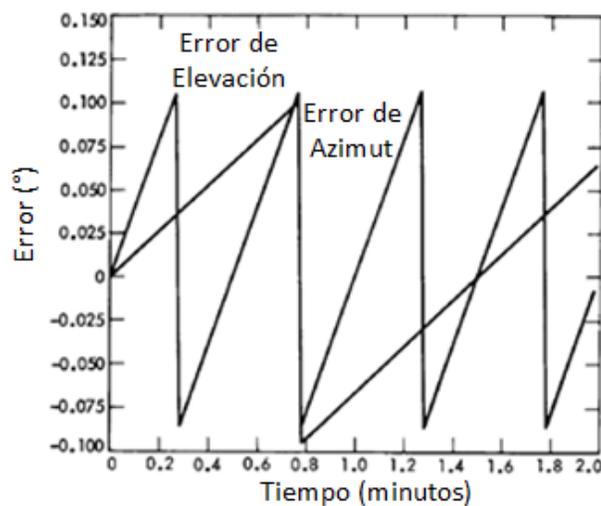


Figura 5. 8. Error en el seguimiento[48]

El error debido a los tiempos de reacción del actuador genera errores en el seguimiento en torno 5mrad, lo cual en si lleva a pérdidas de eficiencia de entorno al 0,5%.

- **Limpieza:** La suciedad depositada sobre el reflector aumenta la absorción del material, reduciendo la reflectividad del material y también disminuye la especularidad de la superficie, aumentando la reflexión difusa, al incorporar errores a las pendientes en la superficie del material.

La acumulación de suciedad sobre la superficie depende de una serie de factores, como son la calidad y composición del aire donde se instala el reflector, el tamaño de las partículas, la velocidad del viento y la forma de la superficie. Por su parte, la

humedad ambiental favorece la deposición sobre el colector, al favorecer la atracción entre partículas suspendidas y la adhesión al reflector.

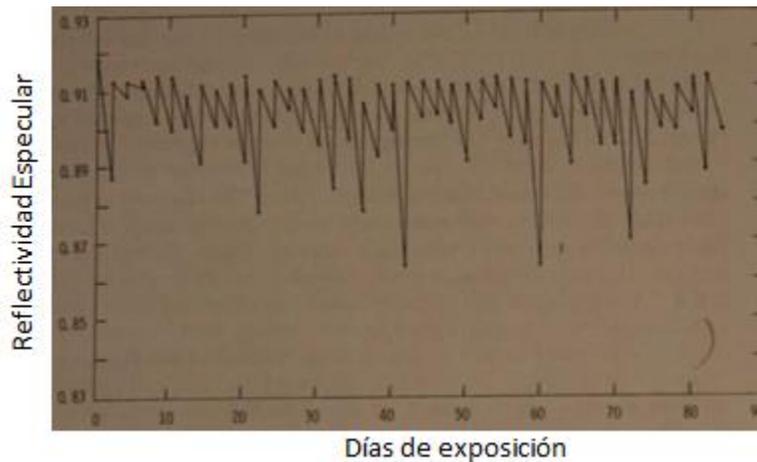


Figura 5. 9. Variación de la reflectancia con una frecuencia de limpieza cada 2 días. [48]

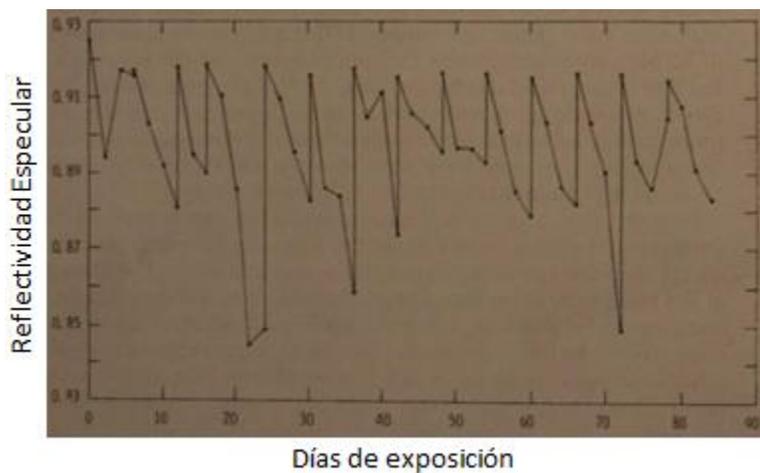


Figura 5. 10 Variación de reflectancia con una frecuencia de limpieza cada 10 días. [49]

En las Figuras 5.9, y 5.10, se observa la clara necesidad de limpiar la superficie recurrentemente, a modo de evitar caídas de reflectividad de más de 10 a 20%.

Se ha observado que al convolucionar todos los errores se observa que el error óptico sigue una distribución gaussiana, luego al sumar apropiadamente las desviaciones estándar de cada fuente de error óptico se obtiene el error óptico definitivo, expresado en la Ecuación 5.3. [48]

$$\sigma_{optico} = \sqrt{4\sigma_{contorno}^2 + \sigma_{especularidad}^2 + \sigma_{seguimiento}^2} \quad \text{Ecuación 5.3.}$$

5.1.1.1. Consideraciones Especiales para el Reflector Secundario

Debido a que el seguimiento sincronizado de los reflectores no es ideal, es decir que parte la radiación reflejada al colector no llega al objetivo cuando los reflectores se mueven con igual velocidad angular, se hace necesario utilizar un reflector secundario colocado sobre y entorno al cilindro absorbedor. La utilidad de incorporar este elemento es recuperar la radiación que en otra instancia se habría perdido. En especial cuando el sol alcanza bajos ángulos, se produce el fenómeno conocido como astigmatismo en colectores Fresnel, Figura 5.11.

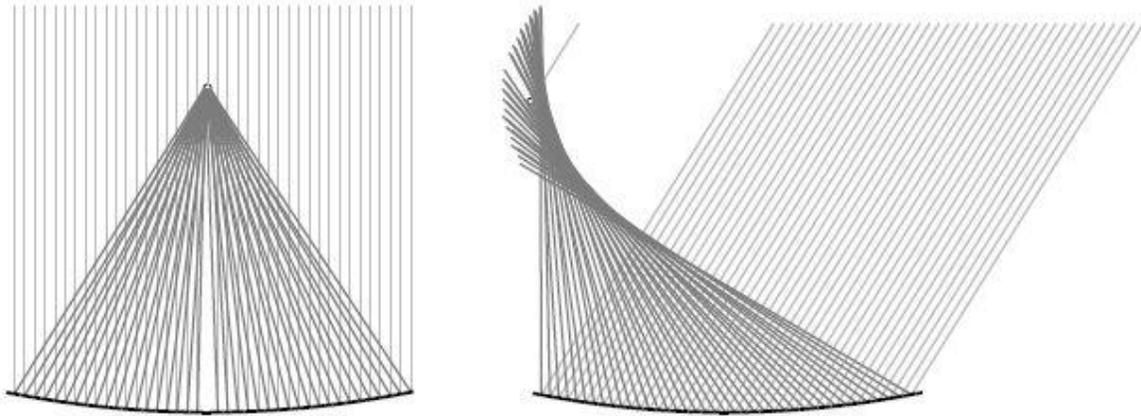


Figura 5. 11. Astigmatismo en colectores Fresnel lineales [50]

Los reflectores secundarios son una de las principales líneas de investigación en lo que se refiere a colectores Fresnel. Es cierto que permiten aprovechar radiación que de otra forma se vería incidida al ambiente, sin embargo debido a que no se ha podido desarrollar sistemas con reflexión especular del 100%, tienen asociada una segunda situación de pérdidas asociadas a reflectores. También se considera la posición en el equipo que utilizan los reflectores secundarios, por ejemplo, cerca del absorbedor y recibiendo gran parte de la energía reflejada en los espejos primarios, ya que a mayores temperaturas los materiales presentan variaciones en sus propiedades físicas y aumenta su capacidad de emitir radiación de cuerpo hacia su entorno. Considerando la importante función del reflector secundario y las pérdidas inherentes al mismo se han desarrollado múltiples diseños de reflectores secundarios, todos como cilindros con sección transversal continua. Algunas secciones transversales que se han desarrollado son:

- Triangulares
- Trapezoidales
- Semi-circulares
- Parábolas
- Unión de parábolas.

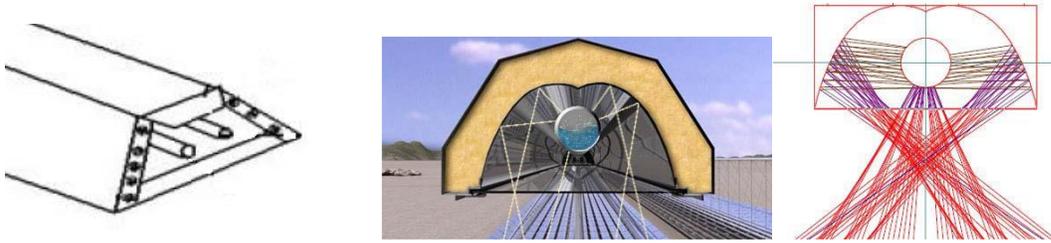


Figura 5. 12. Geometrías de reflectores secundarios, (Izquierda) Trapezoidal, (centro) Unión de Parábolas, (derecha) Ilustración del seguimiento de rayos.[40]

Dado que el receptor se coloca sobre el colector, se busca que presente la menor superficie posible, a modo de disminuir la radiación que este podría bloquear. La geometría del reflector secundario debe redirigir los rayos hacia el foco del receptor. Para estudiar este componente del colector Fresnel se utilizan técnicas rastreadoras de rayos, las cuales observan cómo es que cada rayo proveniente de los reflectores primarios se refleja en el secundario.

En el caso de receptores de sección transversal trapezoidal se han encontrado las siguientes relaciones para considerar en el diseño del mismo, relaciones que se extienden a otros diseños de receptores: [51]

- Existe un máximo óptimo para el espesor de la aislación, más allá de dicho máximo el material adicional tendrá poco efecto respecto al calor a conducir. La Ecuación 5.4. referida a la pérdida de calor U_L expresa el coeficiente global de transferencia[52]:

$$U_L = c * (T_P - T_A)^d \quad \text{Ecuación 5.4.}$$

Donde c representa el coeficiente de conductividad del material, T_P la temperatura en la pared interna del receptor y T_A la temperatura ambiente. Cabe mencionar mencionar que una aislación inapropiada podría llevar consigo hasta 58% en pérdidas de calor.

- Se ha observado que la utilización de una cubierta de alta transmisividad y baja reflectividad reduce las pérdidas por convección.
- Se recomienda una apertura del reflector, que corresponde a entre el 0,1 y 5% de la distancia entre el reflector más alejado y el centro del receptor. [53]

5.1.2. Propiedades relevantes de reflectores

Los reflectores se pueden caracterizar de acuerdo a dos parámetros principales:

- **Reflectancia:** el reflector debiera ser capaz de reflejar tanta energía incidente hacia el absorbedor como sea posible.
- **Durabilidad:** el reflector debe mantener sus características a lo largo del tiempo de operación de la instalación en la que se implementó, usualmente más de 20 años.

El colector también debe presentar otras características:

- El reflector, y la estructura que lo soporta, deben ser económicos cuando se comparan con el costo del objetivo al cual enfoca la radiación.
- Debe ser fácil y económico de limpiar, sin dañar la superficie reflectante.
- La construcción debe ser resistente a la carga del viento, nieve, y vibraciones.
- De preferencia el sistema busca ser ligero y fácil de montar.
- El reflector busca ser fabricado con materiales no contaminantes, ni peligrosos (como el plomo o mercurio).
- ASTM e ISO presentan estándares para asegurar resistencia ante degradación de la capa protectora, corrosión del material reflectante, abrasión de la superficie, Ensuciamiento, degradación del sustrato, caracterizar la transmitancia del vidrio, y la reflectancia espectral de materiales reflectantes.
- Los ensayos usualmente empleados para estudiar materiales reflectantes corresponden estudios de corrosión en ambientes salinos (NSS y CASS), ciclos en aceleradores climáticos, humedad, estudios de impacto en caso de granizo, shock térmico, adhesión de pinturas.

Se evita colocar objetos que sombreen el colector en torno a él. Requiriendo así inversión en la preparación del terreno.

5.1.3. Materiales Utilizados en la Confección del Reflector

5.1.3.1. Substratos

Como se describió anteriormente, el sustrato corresponde al material que mantiene la geometría de la superficie reflectante y sobre el cual se deposita el material reflectante. En primera instancia el sustrato no tiene por qué ser transparente, esto depende de si se trata de un reflector de primera o segunda superficie.

En el caso de los reflectores de segunda superficie, se cuenta con algunos materiales probados como sustratos:

- **Vidrio bajo en hierro:** Debido a que el sustrato es colocado frente a la superficie reflectante, se requiere de un material que presente alta transmisividad. Dado el requisito de que el material sea permeable, se busca utilizar vidrio con bajo contenido de hierro, debido a que este absorbe gran parte de la radiación infrarroja. [55]

Los fabricantes de vidrio suelen producir vidrio nominalmente estándar, es decir, transparente, gris, bronce y verde. Cada color se logra al incorporar diferentes aditivos al vidrio. El vidrio transparente o estándar no incluye ningún aditivo aparte de la arena utilizada en su fabricación. La Figura. 5.13., describe la absorción de cada uno de los vidrios producidos.

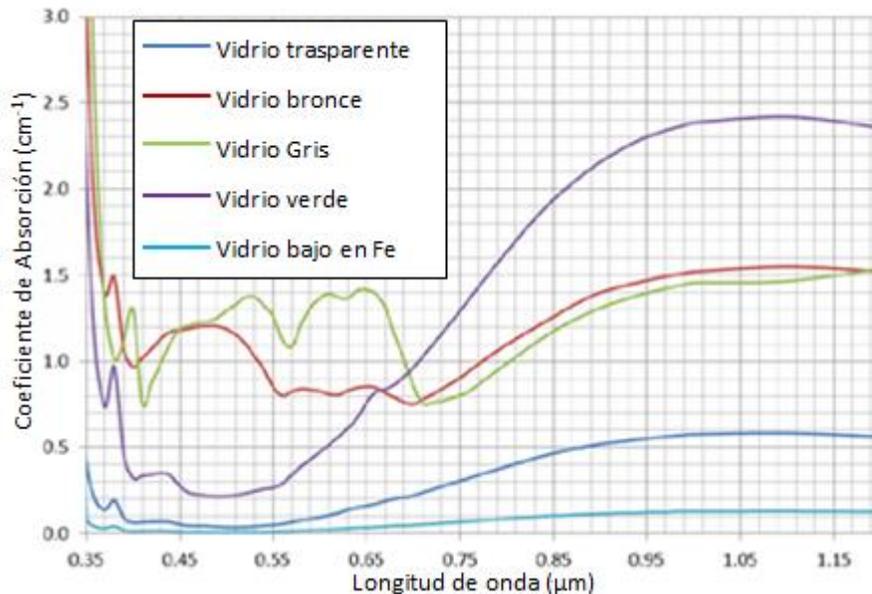


Figura 5. 13. Coeficiente de absorción de distintos vidrios comerciales [56]

Como se observa en el gráfico, el vidrio bajo en hierro (línea celeste) presenta baja absorción, permitiendo que gran parte de la energía pase a través de este material y se refleje en la superficie reflectante. Aún se podría mejorar la absorción para longitudes de onda de radiación infrarroja (sobre 0,7 μm).

De acuerdo a la unión europea el vidrio bajo en hierro presenta un contenido en hierro menor a 300PPM, y debe tener una transmisividad de cuanto menos 88%, entre otras características, como resistir cambios bruscos de temperatura $\Delta 150$ K y presentar una resistencia mecánica superior a 90 N/mm^2 . [57]

Los vidrios bajos en hierro se fabrican a partir de Cal y arena silicatada, virtualmente libre de óxidos de hierro. El resultado es un vidrio transparente, color “blanco agua” con mayor transmisividad que vidrio de cal común. El material bajo en hierro transmite 2-3% más que un vidrio común, ambos con 10 mm de espesor, y llega hasta 8% mayor transmisividad para espesores mayores. Cuando se incorporan cubiertas anti-reflectantes es posible llegar a un 98-99% de transmisividad. [58]

- **FEP (Teflón)** Hacia 1974, el teflón FEP metalizado surgió como un material para regular la temperatura interna de naves espaciales. Para entonces laminas transparentes de Teflón FEP tipo A, con un espesor de $125 \mu\text{m}$ cubiertos por una capa de Plata evaporada apoyados en una superficie de Inconel mostraban una absorción solar (α) de 0,075 y una emitancia de 0,76 (ϵ) a 300K, presentando una buena relación α/ϵ cercana a 0,1. [58]

Tomando nota de las propiedades solares del material. Industrial Solar Technology Inc. ha estado trabajando en conjunto con NREL para desarrollar un

material de Teflón Platinado para reflejar la radiación. Entre las ventajas del material destacan su resistencia a los ataques climáticos y su propiedad no-higroscópica (no atrae humedad desde el aire). El teflón presenta buenas propiedades como barrera y baja retención de sedimentos. El único problema que ha mostrado esta tecnología es que presenta una baja reflectancia cuando no ha sido sometido a ataques climáticos, una reflectancia entorno al 80% para espesores de 650nm y una tolerancia de 8-12mrad como ángulo aceptable de especularidad. Es importante considerar que la meta es llegar a un 90% de reflectancia.[59]

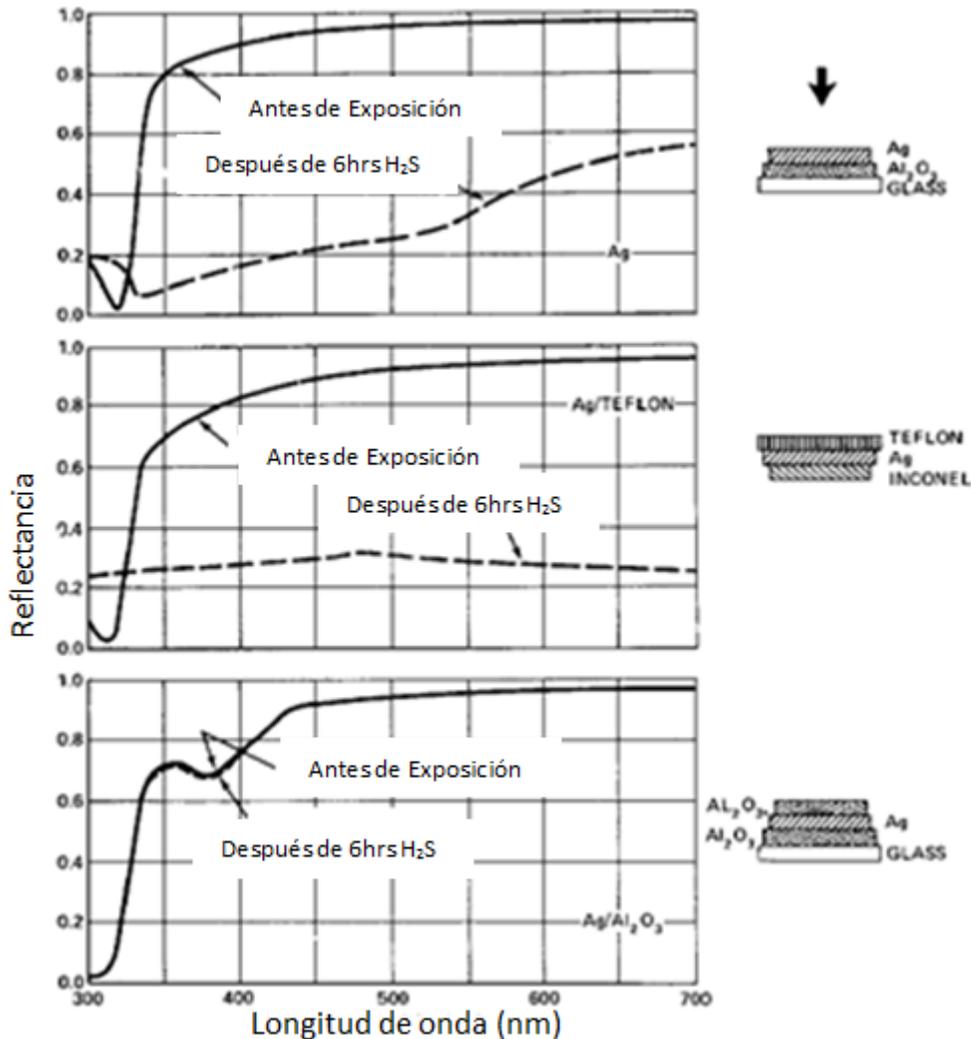


Figura 5. 14. Reflectancia de Ag/Teflón, Plata sin proteger y Plata con una capa delgada de Al₂O₃ evaporado. Antes y después de ser expuestos a H₂S [59]

La Figura 5.14. Presenta un estudio donde se observa como el ácido sulfhídrico afecta la reflectancia de distintas configuraciones de plata.

Para substratos en reflectores de primera capa se cuenta con un mayor rango de materiales para trabajar, considerando que la transmitancia ya no es relevante para el

sustrato. El sustrato debe dar resistencia ante la corrosión ambiental, dando garantías de resistencia a más de 10 años, incluso llegando a 20 o 30. Su superficie debe ser satinada para asegurar elevada specularidad y asegurar el desempeño óptico del reflector. Especialmente, debe contar con una buena adhesión al material reflectante.

- **Vidrio:** De la misma forma en que se utiliza para en reflectores de segunda superficie, el vidrio también puede ser utilizado para dar soporte estructural a la superficie reflectante, sin embargo, se debe cumplir con los otros requisitos de sustrato.
- **Metal:** De forma similar a los sustratos de vidrio, el sustrato de metal debe dar la resistencia estructural al reflector. Los reflectores de sustrato metálico suelen estar fabricados a partir de aluminio pulido y no incorporan un material reflectante adicional. El principal problema de estos reflectores es su rápida degradación óptica en ambientes expuestos al clima. Una de las ventajas de utilizar sustratos de metal, es la capacidad que tiene de integrarse directamente a la estructura del colector, reduciendo costos y tiempos de ensamble. Son reflectores económicos, pero rara vez usados en la industria.
- **PET:** Una de las formas de reducir los costos en espejos solares es la de metalizar un sustrato económico con buena adhesión al material reflectante, tal es el caso del tereftalato de polietileno (PET por su sigla en inglés). Este sustrato requiere la utilización posterior de una capa protectora durable y resistente a la abrasión. [59]
- **Diversos Polímeros:** Los sustratos plásticos suelen ser utilizados en la forma de láminas delgadas, sobre las cuales se deposita el material reflectante. Este diseño suele requerir ser adheridos a otra superficie para mantener su geometría. Estos sistemas no han resultado ser resistentes al clima, y suelen ensuciarse rápidamente debido a la carga eléctrica del plástico, producida por el roce con el viento. Ante la constante búsqueda por desarrollar mejores reflectores, NREL subcontrató a “Pacific Northwest Laboratory” para desarrollar un proceso de deposición de plata sobre diversos polímeros, fabricando reflectores solares sobre plásticos flexibles.[59]. De la misma manera otras compañías están desarrollando nuevas tecnologías y materiales para alcanzar la misma meta, reflectores flexibles de bajo costo. Entre empresas realizando estos estudios se encuentra Leybold Optics, en Alemania, quienes buscan desarrollar coberturas de plata de alta reflectividad sobre plástico impreso en 3D. Leybold busca desarrollar reflectores confiables y de bajo costo de manufactura para producción masiva. [60]

5.1.3.2. Materiales Superficie Reflectante

Como se describió anteriormente es importante que el reflector presente una superficie de alta reflectancia. Para lograr esto se suele utilizar superficies metálicas, con acabados satinados y cubiertos por materiales que eviten los ataques químicos y mecánicos a la superficie. La Figura 5.15 presenta la reflectividad de algunos materiales metálicos, como es el caso de la plata, el aluminio y cobre.

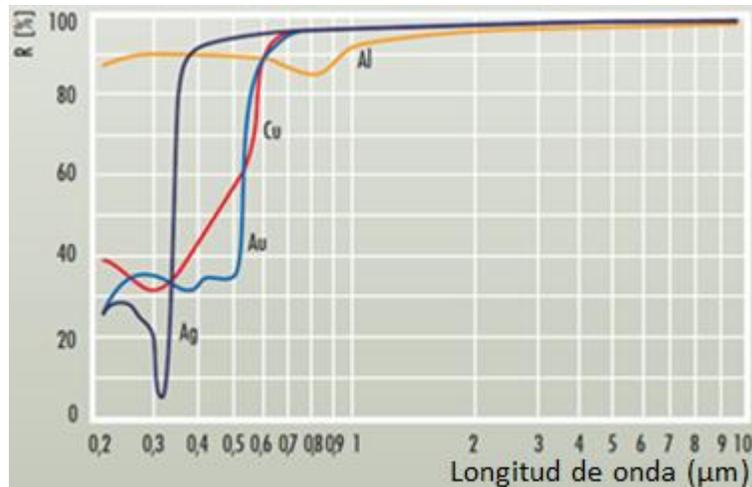


Figura 5. 15. Reflectividad de distintos metales para diversas longitudes de onda.[62]

Todo material presenta propiedades reflectantes, como se aprecia en la Figura 5.16, pero se busca utilizar los que maximicen dicha propiedad.

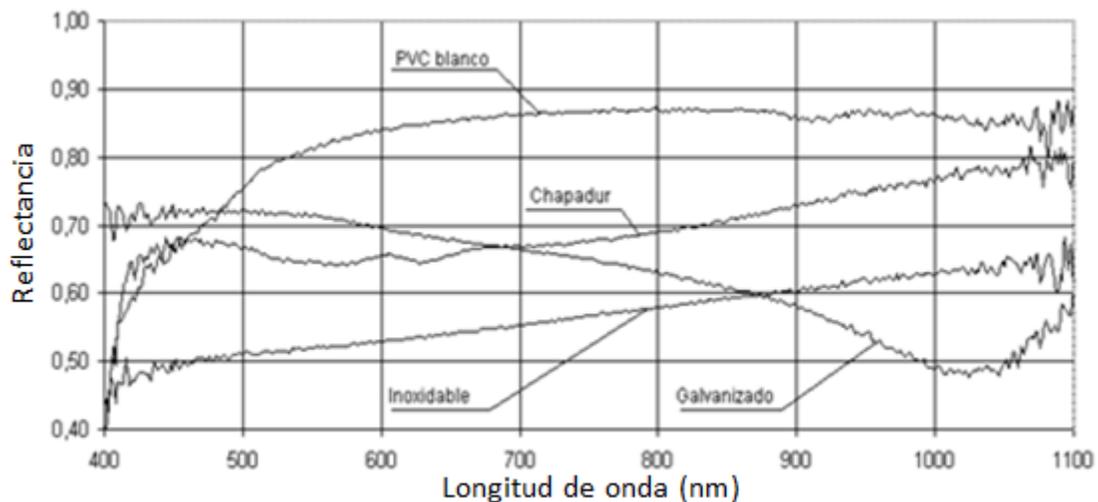


Figura 5. 16. Reflectancia espectral de PVC blanco, chapa pintada de blanco, chapa galvanizada y acero inoxidable. 0

Los materiales más comunes en la manufactura de los reflectores corresponde a la utilización de sustratos de vidrio con deposición de plata como material reflectante, alcanzando reflectancias de hasta 93.5%. [64]

5.1.4. Procesos de Manufactura de Reflectores

Civilizaciones antiguas lograban fabricar elementos reflectantes al pulir metales preciosos, como el oro, cobre o bronce. Hacia la edad media la fabricación de espejos se lograba al acoplar láminas metálicas, o mercurio, a planchas de vidrio. No fue hasta el siglo XIX que comenzó a utilizarse láminas delgadas de plata, cuando Justus Von Liebig descubrió la fabricación de capas delgadas de plata al utilizar Nitrato de Plata y Aldehído.

En la actualidad, la manufactura del reflector puede dividirse en dos tareas, manufacturar el sustrato e incorporar la superficie reflectante.

5.1.4.1. Manufactura del Substrato

En la sección 5.1.3, se describieron una serie de materiales utilizados para la fabricación del sustrato de un reflector. A continuación se describen los principales procesos de manufactura para los sustratos más utilizados, o prometedores.

- **Vidrio bajo en hierro:** La producción de vidrio con bajo contenido en hierro, requiere de la utilización de arenas con bajo contenido de hierro, menos de 300 ppm. Este material puede ser obtenido en ciertos yacimientos alrededor del mundo.

Es posible trabajar yacimientos con mayores contenidos de hierro, al utilizar herramientas para limpiar el mineral. Existen cuanto menos tres métodos para reducir la cantidad de contaminantes como el hierro, la cromita, y otros minerales refractarios. Los principales mecanismos utilizados para remover el hierro son:

- **Separación magnética mojada [65]:** El proceso consta de insertar las partículas de arena en un ambiente saturado de agua y agitarlas, para evitar la sedimentación. Luego se hace pasar el fluido, de forma vertical, por un campo de alta intensidad magnética (en torno a 20.000 Gauss) y una matriz filtrante. El proceso funciona por lotes, es decir, que se limpia la matriz, se ingresa su capacidad de procesamiento se separan productos de residuos y se procede a limpiar nuevamente. Dado el sistema de trabajo, se recomienda trabajar con dos máquinas en paralelo, a modo de que mientras una se limpia, la otra separa. Estos sistemas suelen presentar capacidades de trabajo de 8 a 12 Ton/hora. Requieren de aire presurizado a 6 Bar para operar sistemas de válvulas. El sistema es operado por un microprocesador, requiriendo de mínima supervisión. Se trabaja con concentraciones de 25% de sólido en suspensión. Los costos operacionales de estos sistemas son extremadamente bajos, 0,2 Libras/tonelada, con un requerimiento de agua de 250 L/min. Logrando productos como los indicados en la Tabla 5.1.

Tabla 5. 1. Características de separadores magnéticos mojados

Material	Pegmatita		Arena de Sílice <400 micrones		Arena de Sílice <450 micrones	
	WHIMS	Filtro-HI	WHIMS	Filtro-HI	WHIMS	Filtro-HI
Separador	WHIMS	Filtro-HI	WHIMS	Filtro-HI	WHIMS	Filtro-HI
Velocidad [cm / Seg]	>25	4,0	>25	6,0	>25	6,0
Fe₂O₃ meta		<0,015%		<0,012%		<0,05%
Fe₂O₃ Alcanzado	0,0175%	0,0115 %	0,0172%	0,0116 %	0,07%	0,05%
Campo Magnético (Gauss)	20.000	4.500	8.000	5.000	8.000	5.000

Fuente: [63] S. Fawell

- **Separación seca [63]:** Para este proceso se utiliza la gravedad, y se deflacta la caída por medio de un campo magnético, como ilustra la Figura 5.17. Repitiendo secuencialmente el procedimiento se logran concentración incluso

menores de óxidos ferrosos. En si este proceso no requiere mucha energía para general el campo eléctrico, hasta 18.000 Gauss. Es posible llegar a concentraciones incluso menores de fierro que en el caso del de separación mojada, pero los costos energéticos son mayores, con 0,75 KW por pasada y hasta 3 kW en el movimiento de las cintas. El consumo energético puede ser aún mayor en caso de que el material se encuentre aún caliente, debido a un proceso de secado. Mientras mayor sea la temperatura más aumentan las pérdidas de energía en los imanes.

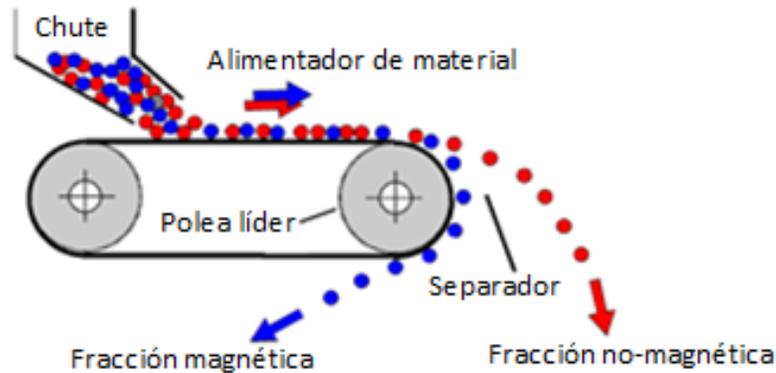


Figura 5. 17. Representación gráfica de la separación seca.[63]

- **Métodos Químicos:** También es posible remover el fierro por medio del proceso de leaching utilizando ácidos orgánicos e inorgánicos. Usualmente los ácidos orgánicos utilizados son: ácido oxálico, cítrico y ascórbico. Por otro lado, los ácidos inorgánicos utilizados son: Fluorhídrico, Clorhídrico, sulfúrico y perclórico.

Una vez que se cuenta con la arena necesaria para fabricar el substrato, se procede a producir el vidrio. El método más común para dicho proceso es la producción de vidrio por flotación. El proceso consta en verter el material fundido a 1600°C sobre un lecho, poco profundo, de lata fundida en una atmosfera controlada de nitrógeno e hidrogeno. Debido a la diferencia de densidades el vidrio flota sobre el metal a 1000°C. El vidrio fluye de forma continua, generando una capa de entre 0,4 y 25 mm. El espesor obtenido puede ser modificado al estirar el vidrio caliente, comprimir los costados, removiendo con mayor velocidad el vidrio solidificado, o aumentando el flujo. Una vez removido de la superficie de lata fundida, el vidrio es recocido con el fin de disminuir las tensiones en la estructura cristalina. El recocido permite pulir, cortar o maquinarse.[65] La Figura 5.18. Incluye una descripción grafica del proceso.

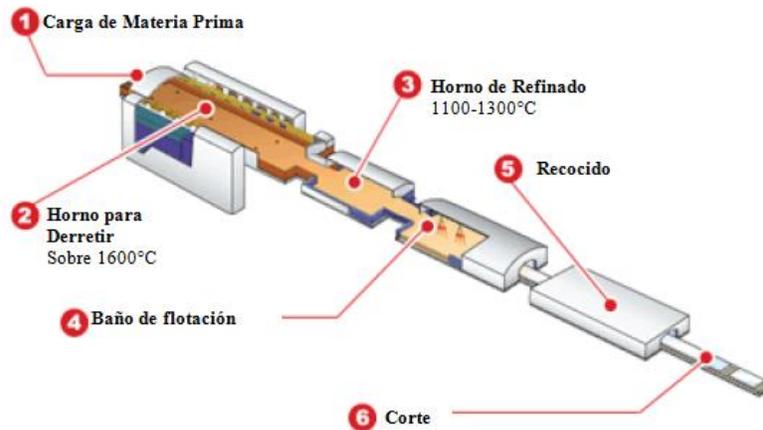


Figura 5. 18. Descripción grafica del proceso de producción de vidrio por flotación. EL proceso completo requiere 600 metros de largo.0

Tabla 5. 2. Descripción del proceso de producción por flotación

Fundición	Paso por el baño de flotación	Cobertura por Rocío químico	Normalizado	Corte
Se funde la arena (60%), dolomita y cal (20%), soda y azufre (20%) a 1.540°C durante unas 50hrs.	El vidrio fundido sale a 1.100°C y se desliza sobre la lata fundida, en un ambiente rico en N ₂ y H ₂	A 600°C se puede cubrir el vidrio con las películas deseadas a depositar.	A lo largo de 250 a 300 metros el vidrio es enfriado hasta alcanzar temperatura ambiente.	Se cortan los costados del vidrio y se dimensionan a medida.

Fuente: 0 AGC Glass

El vidrio flotado permite obtener superficie paralelas, con aspereza de entre 0,15µm/20 mm peak-to-peak para substratos de 1.1 mm de espesor, a 0,2µm/20mm peak-to-peak para espesores de 0,7 mm. En caso de pulir el vidrio es posible llegar a calidades superficiales de entre 0,05µm/20 mm peak-to-peak para substratos de 1.1 mm de espesor, a 0,075µm/20mm peak-to-peak para espesores de 0,7 mm.

Respecto a curvar el vidrio existen dos metodologías para realizar el proceso, en caliente y en frío.

Curvar en caliente: Al utilizar esta técnica se sigue el procedimiento:

- Precalentar un molde de metal con la geometría deseada hasta los 650°C.
- Mientras el molde es precalentado, el vidrio es pulido e inspeccionado con radiación ultravioleta para verificar que ha sido debidamente aseado.
- Antes de ser colocar el vidrio sobre el molde, este es cubierto con una mezcla de jabón, greda y carbonato de calcio, evitando la adhesión del vidrio al molde.
- El vidrio es colocado sobre el molde y colocado en el horno hasta que por gravedad alcance la geometría del molde.

- Una vez que el vidrio se ha deformado se deja enfriar lentamente en el horno hasta llegar a temperatura ambiente.

Curvar en frío: Se utiliza un molde con la concavidad deseada orientada hacia abajo. Se aprovecha el fenómeno de creep al empotrar una sección del cristal en el molde y la sección opuesta es cargada bajo el esfuerzo límite, así se deforma lentamente el cristal hasta que alcance la curvatura del molde, como indica la Figura 5.19.

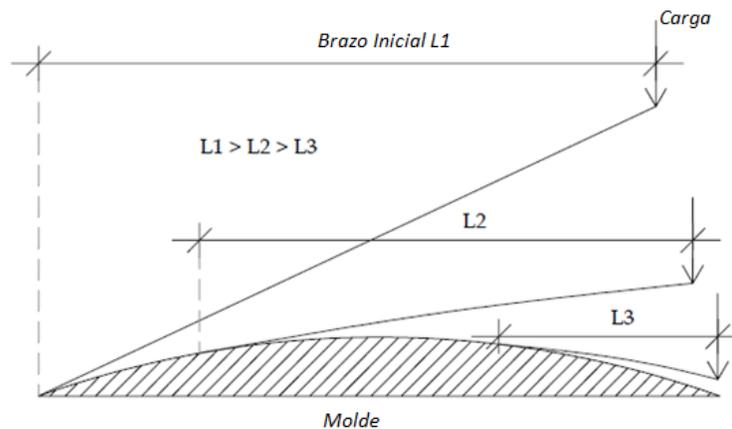


Figura 5. 19. Curvado frío de cristales [68]

Dado que el brazo que genera el momento de carga se reduce en la medida que el cristal alcanza el molde, puede ser necesario aumentar gradualmente la carga sobre el cristal.

- **Substratos metálicos:** En el caso de utilizar metales para reflectores de primera superficie, se requiere de superficies lisas, obtenidas por rectificado. También destaca la necesidad de electro-pulir la superficie del sustrato para asegurar una correcta adhesión entre el material reflectante y el sustrato. Dado que los sustratos metálicos requieren deposiciones de primera superficie estos no han sido muy utilizados, por su rápida degradación ante ataques ambientales. Su mayor aplicación ha sido como soporte estructural para láminas adheridas, limitando el beneficio entregado en esta técnica utilizada por la fácil integración del reflector a la estructura de soporte.

5.1.4.2. Procesos de Manufactura Integrados para Sustrato y Material Reflectante

Existen materiales que presentan reflexión especular cuando son apropiadamente trabajados, como es el caso del aluminio. A continuación se presentan algunos procesos utilizados para otorgar dichas características y preservarlas durante su ciclo de vida.

- **Laminación:** En caso de fabricar un reflector completamente de aluminio, se necesita una placa de entorno a 4mm de espesor. Por su parte, el acero inoxidable no requiere tanto espesor, y el acero austenítico presenta estabilidad a largo plazo, pero una reflectancia solar baja (0,67).

Una técnica que disminuye los costos de fabricación, es la de laminar una película delgada de aluminio sobre un sustrato de acero austenítico. Se incorporan adicionalmente lacas, esmaltes y plásticos para proteger la superficie reflectante.

La técnica de laminar materiales distintos sobre una matriz definida, busca aprovechar las propiedades de los distintos materiales constituyentes para lograr un producto con propiedades diseñadas a medida para cada aplicación específica. Esta tecnología se aprovecha principalmente para sistemas de empaque, pero también es utilizada en otras industrias

- **Extrusión y deposición a presión:** Es posible utilizar planchas de acero con espesores de en torno a 0,5 mm, cubiertas con algún pegamento (4µm de adhesivo de poliuretano), luego de lo cual se presiona en caliente o por extrusión con el material reflectante (ya cubierto con la superficie protectora). Por ejemplo, se ha utilizado como material reflectante un conjunto de 25µm de PET, detrás del cual se depositan 20nm de aluminio evaporado, respaldado por una película de 9µm de aluminio laminado en rollos, sobre 20µm de PET. Obteniendo el producto final “Laminated Al-on-steel reflector”:
 - Una capa protectora de 25µm de PET transparente y estable a la radiación UV, con alta transmitancia solar, y con punto de fusión de 255°C.
 - Una superficie reflectante de 20nm de aluminio evaporado.
 - Un sustrato protector de aluminio (sustituye la reflectancia del aluminio evaporado, en caso de que falle), apoyado en 20µm de PET, todo laminado en caliente a una placa de 0,5 mm de acero austenítico. El acero a utilizar debe mostrar una rigidez adecuada para mantener la geometría del reflector.

Para esta línea de procesos existen distintos proveedores del material reflectante, Uno de los productores destacados es 3M. proveedor de películas reflectantes “SMF1100”, para ser laminadas a sustratos indicados en la Tabla 5.3, por medio de por rollos, como indica la Figura 5.20.

Tabla 5. 3. Recomendaciones de sustratos para películas Solar Mirror Film 1100, de 3M™

Substrato	Resistencia a la corrosión	Desempeño Óptico	Compatibilidad del sustrato con el material reflectante.
Aluminio pintado	Buena	Buena	Buena
Galvalume pintado	Buena	Intermedia	Buena
Acero pintado	Intermedia	Buena	Buena
Acero galvanizado y pintado	Buena	Intermedia	Mala
Acero inoxidable	Buena	Buena	Buena
Plástico reforzado con fibra	Intermedia	Intermedia	Buena
Vidrio	Buena	Buena	Buena
Aluminio	Buena	Buena	Mala
Acero	Mala	Buena	Buena
Acero galvanizado	Intermedia	Intermedia	Mala
Acero “Galvalume”	Buena	Intermedia	Mala

Fuente: [68] 3M™, Solar Mirror Film 1100.

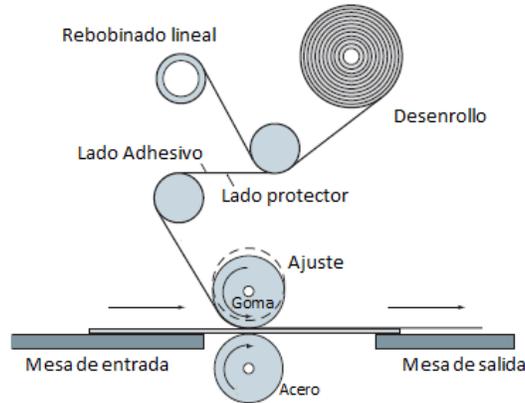


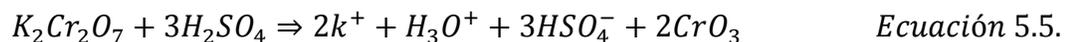
Figura 5. 20. Laminador tipo, descrito por 3M [68]

5.1.4.3. Procesos de incorporación material reflectante a reflectores.

Antes de realizar la deposición o adhesión de películas reflectantes el sustrato debe ser debidamente limpiado y liberado de impurezas.

- **Procesos de limpieza:** Es importante considerar el proceso de limpieza del sustrato, tanto para aumentar la adhesión de la película reflectante como para minimizar la corrosión del espejo. El proceso de limpieza necesita romper la unión entre la partícula contaminante y el sustrato, para lo que existen dos formas de lograr dicho objetivo, se puede utilizar algún proceso químico o exponer el sustrato a suficiente energía como para romper el enlace. Se puede rectificar la superficie para remover impurezas, o utilizar ácidos para convertir óxidos y compuestos solubles en grasa.

El proceso de limpieza suele utilizar mezclas de cromo, por ejemplo, sales de cromo añadidas a ácido sulfúrico concentrado (como indica la Ecuación 5.5.):



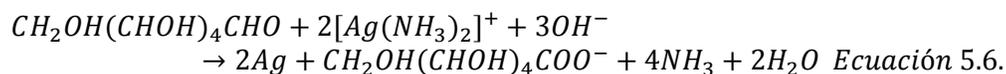
El proceso de limpieza final suele ser la utilización de descargas fluorescentes, utilizando descargas de oxígeno o argón, en un ambiente entre un ánodo y un cátodo circular de aluminio, ubicado cerca del sustrato. Se utilizan voltajes de 500 a 5.000 V, usualmente a corriente directa, pero también puede se puede utilizar corriente alterna. El proceso de limpiar con partículas cargadas sigue el procedimiento:

- Calentamiento directo, producto de la colisión de las partículas cargadas.
- Distorsión de las impurezas, debido al bombardeo continuo de electrones.
- Distorsión de impurezas, como resultado del bombardeo de partículas neutras.
- Modificación de la superficie, ocasionada por la continua adición de partículas que componen el plasma.

Para probar que una muestra fue debidamente limpiada, se sumerge el sustrato limpio en un recipiente con agua pura. Si el sustrato está limpio, se obtendrá una película continua de agua.

Una vez que el sustrato ha sido adecuadamente limpiado se procede a realizar la deposición de película reflectante. Existe una serie de técnicas que permiten adherir la superficie reflectante al sustrato, cada técnica también depende del sustrato a utilizar. Las técnicas más comunes son:

- **Proyección de químicos húmedos:** El proceso comienza con limpiar y pulir el vidrio con agua desmineralizada, para asegurar una superficie libre de impurezas de dimensiones mayores al orden de 10^{-9} metros. Luego de lo cual se procede a rociar nitrato de plata y agentes reductores, principalmente aldehídos solubles en agua, sobre la superficie limpia. El aldehído reduce el complejo a plata metálica, la cual se adhiere al vidrio si este se encuentra mojado y limpio. La reacción que describe el proceso químico es presentada en la Ecuación 5.6. [69], donde inicialmente se utiliza nitrato de plata, el cual por medio de los reductores pasa a formar el catión di-amina de plata $(Ag(NH_3)_2)^+$, la cual continua reaccionando hasta depositar la superficie de plata metálica, producir amoníaco, agua y glucosa oxidada.



La superficie reflectante se comienza a formar una vez que los reactantes alcanzan la superficie del vidrio. Es importante evitar que los reactantes se mezclen antes de que alcancen la superficie, de lo contrario podrían surgir relieves en la superficie reflectante. Una vez que se ha formado la superficie reflectante, esta es cubierta con cobre para proteger la superficie reflectante. Después de haber completado la cubierta de cobre, se seca el espejo con calefactores por radiación, luego de lo cual se procede a barnizar el sistema con lacas especiales para aumentar la vida útil del espejo.

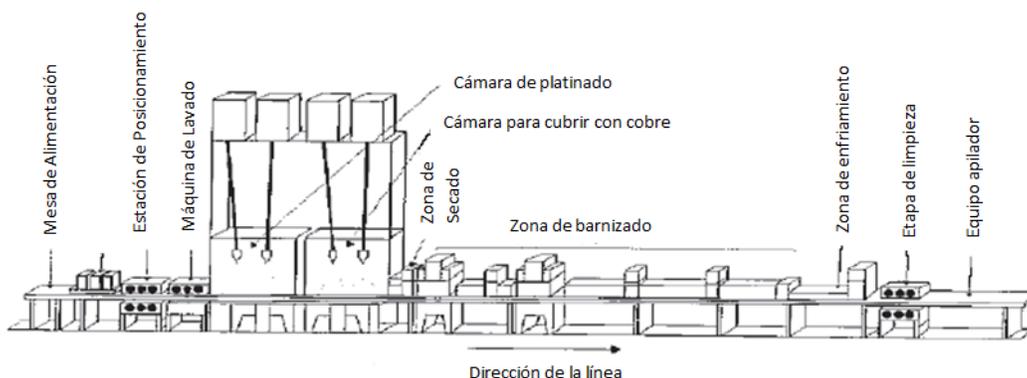


Figura 5. 21. Descripción grafica de la línea de platinado.[70]

El proceso suele ser desarrollado en líneas de producción, con un largo estimado de 200m. Para incorporar la superficie reflectante, y darle la protección

correspondiente se requiere de grandes cantidades de agua desmineralizada, y un suministro constante de energía.

Es posible recuperar la plata depositada sobre vidrio, si el reflector es enjuagado con ácido nítrico. Una vez limpio el sustrato, se procede a evaporar el ácido nítrico para obtener el nitrato de plata y así volver a depositar el material en otro sustrato.

- **Evaporación en vacío:** Las técnicas que han logrado superficies con mejores reflectancias corresponden a técnicas en las cuales se energizan partículas del material reflectante en una muestra y se orientan a modo de lograr que se depositen en el sustrato deseado.

Las distintas técnicas empleadas para energizar la muestra determinan la técnica de evaporación. Entre los métodos existentes se menciona la evaporación por filamento de Tungsteno en la cual se calienta de forma controlada un filamento de Tungsteno y se logra la evaporación del material por medio de inyección térmica. Otra técnica de evaporación en vacío es la de utilizar cañones de electrones orientados por imanes permanentes para dirigir la descarga de partículas a modo de que se depositen sobre el sustrato. De forma similar al cañón de electrones se puede utilizar descarga de iones para limpiar el sustrato, energizar el material reflectante, catalizar las reacciones químicas en la deposición de la superficie reflectante e incentivar la atracción iónica entre el material reflectante y el sustrato. Cada una de estas técnicas presenta sus propias consideraciones al momento de ser empleadas, especialmente se deben considerar las potencias a emplear a modo de optimizar el proceso de deposición. Luego de depositar la superficie reflectante se suele repetir el procedimiento pero depositando óxidos de silicio a modo de proteger el material ante ataques físicos y ambientales.

- **Sputtering por Magnetron:** Es posible utilizar magnetrones cilíndricos y planos, en caso de utilizar dos magnetrones se reducen los tiempos de deposición y se alcanzan mejores calidades de superficie reflectante. Para este proceso se coloca un imán permanente detrás del objetivo, generando un campo de varios centenares de Gauss paralelos al cátodo. Forzando a los electrones a moverse en espiral entorno a la superficie del cátodo. El confinamiento de los electrones, en conjunto con un ambiente rico en argón, produce plasma de argón. Se trabaja con 1.5 A, y voltajes entorno a 450V, aumentando la densidad de la corriente aumenta la velocidad del proceso.

Para este proceso se fijan los magnetrones y el material reflectante (aluminio 99,99% de pureza), pero se mueve continuamente el sustrato. Con 400W y -35 a -47 V DC, en un vacío de entre 5×10^{-4} y 1×10^{-3} Torr, se consigue depositar 1.000 Å en 15 minutos.

En adición a la superficie reflectante se utilizan películas protectoras y selectivas para controlar la tendencia de los elementos reflectantes a oxidarse y darle resistencia a ambientes abrasivos o corrosivos. Incluso pueden aumentar la reflectancia del espejo, reflejando las longitudes de onda que absorbe el sustrato o la superficie reflectante antes de que lleguen a ellos. Así se han establecido una serie de coberturas protectoras y productos para proteger los reflectores.

Tabla 5. 4. Resumen de procesos, logros y fallas para distintos procesos de deposición.

Técnica	Reflectancia	Velocidad de deposición	Consumo energético	Fallas
Filamento de tungsteno con cubierta de SiO	0,80 (270< λ <2.940)	(Al) 300 Å/min (Si _x O _y) 150-200 Å/min	60 A, 10 min	Agujeros, partidas a fallas ambientales
Filamento de tungsteno con cubierta de Si₂O₃	0,86 (270< λ <2.940)	(Al) 300 Å/min (Si _x O _y) 150-200 Å/min	60 A, 10min	Menos agujeros que con sin oxígeno
Pistola de electrones	0,89 (270< λ <2.940)	(Al)200 Å/min (Si _x O _y) 53 Å/min	50mA, 5min	Mejor superficie que filamento.
Sputtering por Magnetron	0,92 (270< λ <2.940)	(Al) 66 Å/min (Si _x O _y) 80 Å/min	1.250W, 30min	Mejor calidad de la película, menos agujeros y mayor uniformidad que con pistola de electrones o filamentos.
Al-on-Steel	0,82	2,4/min a 4,9m/min		Aumento de asperezas en la superficie, durante el último paso de la laminación.
3M Solar Mirror Film 1100	0,95	2,4/min a 4,9m/min		Reflectancia sobre 0,92, después de 7 años de exposición.

Fuente: [68] 3MTM, Solar Mirror Film 1100, [72] Rutgers CLD Facility, [73] Hans Joachim Glaser

Películas Protectoras: Se utilizan películas protectoras y selectivas para controlar la tendencia de los elementos reflectantes a oxidarse, darle resistencia a ambientes abrasivos, corrosivos o incluso a aumentar la reflectividad del espejo, reflejando las longitudes de onda que absorbe el sustrato o la superficie reflectante antes de que lleguen a ellos. Así se han establecido una serie de coberturas protectoras y productos para proteger los reflectores, los cuales son presentados en la Tabla 5.5. Destaca mencionar que una de las principales líneas de investigación actuales busca evitar la deposición de polvo sobre el reflector.

El desierto de Atacama es sede para uno de los principales estudios de sedimentación sobre espejos, obteniendo resultados propios para la situación Local. Sin embargo, en la presentación de Intersolar, Patricia Darez que se debe seleccionar apropiadamente la ubicación donde se instalaran los equipos, se debe considerar que las condiciones de deposición son muy variadas en el desierto. Así cada instalación presentara distintos requerimientos de aseo en función de donde fue instalada la planta. Darez menciona también la necesidad de definir procedimientos de aseo y quien asumirá los riesgos asociados a la operación y mantenimiento de las instalaciones.

Tabla 5. 5. Descripción de algunas cubiertas utilizadas para mejorar la calidad funcional del reflector

Compuesto	Mecanismo de deposición	Propiedades otorgadas	Descripción
Si_xO_y	Evaporación térmica en vacío, por cañón de electrones (53 Å/min) o sputtering.(66 Å/min)	Resistencia a la abrasión	Alta resistencia
		Resistencia a ambientes corrosivos	Requiere más de 1.500 Å
		Resistencia a ambientes húmedos	Reducción inicial de la especularidad
TiO_2	Sputtering de Ti (14nm), y oxidación durante el plegado a 650°C (TiO_2 de 24 nm)	Reflejar radiación UV, preservar las propiedades reflectantes de Ag.	Requiere verificar la apropiada oxidación del titanio.
Zr intercalado con SiO_2	Magnetron Sputering cuatro capas intercaladas con espesor total <300 nm	Superficie anti reflectante, evita la reflexión difusa.	
Cu [$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2SO_4, polvo de fierro]	Reducción de partículas atomizadas. Incorporadas con Zn y Fe, frente agentes reductores similares a los utilizados para depositar Ag. Deposición en <20min	Resistencia ambiental, a corrosivos. Para proteger de humedad es necesario incorporar pinturas poliméricas.	Presenta inter-difusión Ag/Cu
SnO_2 [SnCl_2, SbCl_3, O_2]	10 nm aplicado por sputering y temperatura. Inyección de SnCl_2 y SbCl_3 a 350-520°C en presencia de oxígeno precalentado.	Reemplaza cobertura de cobre. Resistencia ambiental, a corrosivos y oxidantes.	No presenta inter-difusión y es una buena barrera para evitar que el oxígeno reacciones con la plata.
Spark de AGC	Depositado como aerosol durante el templado	Reduce el reflejos hasta menos de 1.6%	Utilizado principalmente en PV, pero también es aprovechable en vidrio cobertor del receptor.
Oak ridge anti-soiling. Utiliza silica y cubiertas super-hidrofóbicas	Pintura en spray	Reduce costos de lavado y degradación por suciedad.	Pérdidas de 5% de reflectancia especular. En la prensa reportan haber logrado perdidas de tan solo 0,3%
Pinturas epóxicas	Pintura	Utilizada para recubrir las protecciones de cobre y plata.	Por consideraciones ambientales es mal visto utilizar pinturas con contenido de plomo.

Fuente: [73] Almanza R. y Martínez I, [74] Thomas Paul, [75] Midwest Reserch Institute, SERI, [76] Choundhury C. y Shegal H.K.

5.1.5. Mercado Internacional

5.1.5.1. Mercado Internacional Substratos

El mercado de los reflectores solares requiere elevadas inversiones iniciales y un alto consumo energético cuando se utiliza vidrio como sustrato. Usualmente los fabricantes de vidrio flotado cuentan con líneas de deposición de material reflectante y suelen incorporar líneas de fabricación para reflectores solares.

Como se mencionó, la materia prima básica para la manufactura del vidrio es la arena silicatada. Así se hace importante destacar a importantes productores de arena silicatada como Escocia, Canadá, Australia e Inglaterra. En la Tabla 5.6, se presentan los principales proyectos para, aumentar la producción, mundial, los cuales destacan por su cantidad. En la Tabla 5.7 se aprecia la magnitud del mercado de arena silicatada en Inglaterra

Tabla 5. 6. Proyectos de cuarzo de alta pureza por ubicación y empresa

Empresa	Locación
Creswick Quartz Pit Ltd	Creswick, Victoria, Australia
I-minerals	Helmer-Bovill, Idaho, EE.UU.
Mauritanian Minerals Co.	Oum Agueineina, Mauritania
Momentive Performance Materials Inc.	Geesthacht, Alemania. Hebron, Ohio, EE.UU.
Nordic Mining	Kvinnherad, Hordaland, Noruega
Polar Quartz OJSC; RUSNANO	Yugra, Siberia, Rusia
The Quartz Corp.	Spruce Pine, Carolina del Norte, EE.UU.
Russian Quartz LLC; RUSNANO; KGOK JSC	Kyshtym, Chelyabinsk, Rusia
Unimin Corp./Sibelco	Spruce Pine, Carolina del norte, EE.UU

Fuente: [76] Emma Hughes. The quartz Corp. 2013

Tabla 5. 7. Transacciones de arena silicatada en Inglaterra.

Año	Importaciones		Exportaciones	
	Toneladas	Miles £	Toneladas	Miles £
2002	104.323	13.020	39.816	5.250
2003	78.944	9.626	51.015	3.577
2004	79.808	9.840	166.844	5.210
2005	127.922	8.453	174.236	4.586
2006	190.813	9.234	388.440	6.402

Fuente: [77] British Geological Survey. 2009.

Es importante destacar a los grandes proveedores en el mercado internacional y su presencia en el contexto latino americano. Los principales proveedores de vidrio fundido a nivel mundial se enlistan en la Tabla 5.8. En la tabla se observa la presencia en Chile de una línea productora de cristales planos operada por NSG, dicha institución corresponde a las instalaciones de Vidrios Lirquén, productor que cuenta con la orientación e inversión de Pilkington y Saint Gobain.

Tabla 5. 8. Principales fabricantes de vidrio por flotación y sus instalaciones.

Empresa	Base	Instalaciones	Fábricas en Latino América	Fábricas en Chile
NSG (Pilkington)	Tokio, Japón	30 países	8 (Brasil, Chile, Argentina)	1*
AGC	Tokio, Japón	20 países	2-4 Brasil	0
Guardian Industries	Auburn Hills, Mich	25 países	7 (Brasil, Venezuela, México)	0
Saint-Gobain	Courbevoie, Francia	29 países	8 (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México)	
Cardinal Glass	Eden Prairie, Minn	EE.UU.	0	0
PPG Industries	Pittsburgh, Pa	EE.UU.	0	0
SiSECAM	Estambul	9 países	0	0

Fuente: [78] K. Devlin. 3 de Febrero 2014. Brave New World of Glass. *La instalación de NSG en Chile incorpora inversión por parte de Saint-Gobain

Los grandes productores de vidrio a nivel mundial han observado una gran oportunidad en el mercado CSP y han desarrollado productos con propiedades orientadas a cubrir las necesidades de la industria solar. A continuación se enlistan los vidrios de alta transmisividad de los principales productores de vidrio por flotación.

Tabla 5. 9. Productos solares de distintos proveedores de vidrio por flotación

Empresa	Producto	Transmitancia solar
Saint Gobain (Inversión en vidrios Lirquen)	SGG Diamant	0,91 con 3,0 mm 0,86 con 19 mm
Guardian (Argentina)	Ecoguard	0,92 con 0,95 mm 0,88 con 4,0 mm
Pilkington (Domina mercado nacional a través de vidrios Lirquen)	Optiwhite	0,903 a 3,0mm 0,898 a 4,0 mm
	Microwhite	0,916 a 1,0 mm 0,914 a 1,6 mm
	Optiwhite S	0,911 a 3,0 mm 0,908 a 4,0 mm
AGC (Disponibilidad para Chile limitada, AGC Mirabel)	Planibel Clear	0,87 a 4,0 mm 0,78 a 12 mm
	Planibel Clearvision	0,91 a 4,0 mm 0,89 a 12 mm
	Planibel Linea Azzurra	0,73 a 12 mm
Glasstech (Presencia marcada en Chile)	Trabaja y comercializa vidrios adquiridos a otras marcas	

Contar con la materia prima no es suficiente para producir los reflectores necesarios para la industria CSP. También es importante contar con la tecnología para procesar la materia prima. Destacan algunas instituciones dedicadas a suministrar los equipos

necesarios para procesar el vidrio, maquinas presentadas en la Tabla 5.10. Se destaca la empresa Glasstech como un importante proveedor mundial.

Tabla 5. 10. Equipos para doblar vidrio, proveedor Glasstech

Equipo	Procesos	Ancho del vidrio	Capacidad	Espacio requerido	Potencia necesaria
Solar CRB 1700	Doblar y Templar	L:380-1.700 mm A:380-1.651 mm	189 cargas/hr, 1,6mm de espesor	61x12x6 m	Hasta 3.928kW
Solar CRB 1700		L:380-1,700 mm A:380-1,900 mm	189 cargas/hr, 1,6 mm de espesor	63x13x6 m	Hasta 4.675kW
Solar DB 4-S	Doblar y Templar	A: <1,728 mm	212-150 cargas/hr 3,0 mm de espesor	42x17x7 m	Hasta 3.910kW
Solar DB 4-S Quick SAG		A: <1,728 mm	300 Cargas/hr 3,0mm de espesor	42x17x7 m	Hasta 3.910kW
EPB	Doblar y Templar		8,7 a 17,5 Segundos / muestra.	73x9x7 m	Hasta 6.022kW
Solar ERH	Doblar y Templar	L:<2,440mm A<1,520mm	6,1 a 21,9 m/minuto		Hasta 5.350kW

Fuente: [80] Glasstech. 2011-2012. Solar Glass systems

5.1.5.2. Mercado Internacional de Materiales Reflectantes

El proceso de deposición de superficies reflectantes por medio de sputtering por magnetrón entrega el mejor acabado y la mayor reflectancia. Es importante mencionar que el proceso de sputtering también es utilizado en aplicaciones industriales distintas a la deposición de películas reflectantes y su protección, como indica la Tabla 5.11.

Tabla 5. 11. Aplicaciones industriales para Sputtering

Industria	Aplicación	
Almacenamiento magnético de información	<ul style="list-style-type: none"> • Capas de intercambio de control. • Capas semilla • Capas de adhesión • Capas magnéticas Granulares 	<ul style="list-style-type: none"> • Capas intermedias • Subcapas • DVD, CD, Discos Laser, Discos magnéticos.
Vidrio	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura (Low-e, control solar) • Vidrio para vehículos 	<ul style="list-style-type: none"> • Películas antirreflectoras y Antiestática
Electrónica / semiconductor	<ul style="list-style-type: none"> • Metalización trasera 	<ul style="list-style-type: none"> • Optoelectrónica
Fotovoltaico	<ul style="list-style-type: none"> • Fotovoltaicos de capa delgada 	<ul style="list-style-type: none"> • Deposición de Si, Ca, sobre vidrio.
Presentación de Imágenes	<ul style="list-style-type: none"> • LCD (filtros de color) • PDP (filtro PDP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Paneles Touch
Resistencia al desgaste	<ul style="list-style-type: none"> • Industria de herramientas • Industria automotriz 	<ul style="list-style-type: none"> • Industria de fabricación de motores
Medicina	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de angioplastia • Películas anti rechazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Capsulas de radiación • Implantes dentales

Fuente: [81] Heraeus

Tabla 5. 12. Aplicaciones industriales para Sputtering. Continuación Tabla 5.11.

Industria	Aplicación
Aeroespacial	<ul style="list-style-type: none"> • Turbinas • Espejos ópticos y de rayos x
Iluminación	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de emisión • Iluminación eficiente • Intensificadores Infra Rojos • Señalética vial • Reflectores
Decorativo	<ul style="list-style-type: none"> • Recortes de aplicaciones • Vidrio para construcción • Joyas • Empaque de productos • Infraestructura de construcción • Fijaciones de cañerías • Juguetes

Fuente: [81] Heraeus

Es importante considerar la disponibilidad de equipos para la deposición de películas sobre sustratos en ambientes vacíos. La Tabla 5.13 describe alguno de los equipos de deposición de material por sputtering disponibles en el mercado internacional y sus proveedores.

Tabla 5. 13. Resumen empresas proveedoras de equipo para deposición térmica al vacío.

Empresa	Equipo	Mecanismo	Materiales	Velocidad
Von-Arden	MSC1250 (precio: 20 M€)	Magnetron Evaporación por cañón de electrones.	Objetivo: Metales y Óxidos Substratos: Al, Cu, Acero Inoxidable,	10 m/min, Max: 20 m/min Roll to Roll 5 Mm ² /año
	GC330H	Sputtering por Magnetron	Substrato: Vidrio liso (trabaja en serie)	Piezas <3.3x6m en hasta 25s Roll-to-Roll
	GC254H	Sputtering por Magnetron	Substrato: Vidrio liso (trabaja en serie)	Piezas <2.5x3.8m en hasta 18s
Mustang	Horizon	Sputtering por Magnetron	Substrato: Vidrio liso (trabaja en serie)	Piezas <1.350x1.350mm con 20 Seg/Pieza
	Horizon V	Sputtering por Magnetron	Substrato: Vidrio liso (trabaja en serie)	Piezas <1.600x1.350mm con 20 Seg/Pieza
	Iron Series	Sputtering por Magnetron	A pedido	Cintas entre 0,15 1,5 m, a un ritmo de 0,1 a 50m/min
Kobelco	Serie W50	Sputtering por Magnetron	Roll-to-Roll	Ancho entre 1.300 a 2.000 mm
	AIP	Sputtering por magnetron	Roll-to-Roll Substratos: metálicos	
Guangdong PVD		Sputtering por magnetron	En línea Substrato: Vidrio	

Existe coincidencia entre algunas empresas que fabrican substratos con aquellas que proveen del reflector completo. Se incorporan las empresas con capacidad de fabricar espejos a aquellas que trabajan materiales reflectantes como el aluminio. Las Tabla 5.14 y 5.15 presentan alguna de estas empresas, sus procesos de manufactura y las industrias a las cuales prestan servicios.

Tabla 5. 14. Resumen proveedores de reflectores a nivel mundial.

Empresa	Reflector	Proceso	Comentarios	Industrias relacionadas
Flabeg	Plata de segunda superficie	-Plata, rocío húmedo -Películas base, final y resistente al desierto. -respaldo de cobre. Reflectancia: >94%	-Espejo plano, delgado y grueso. -Parabólico (delgado o grueso a pedido)	-Automotriz -Vidrio Técnico.
AGC Solar	Plata, segunda superficie, con vidrio delgado y recocido.	Estratos: Vidrio-plata-cobre-primera capa-capas final. Reflectancia: 95.5%	Disco parabólico, y cilindros parabólicos.	Parte del grupo AGC, vidrio (auto y liso), electrónica y energía (semiconductores, componente fotónicos) química. -AGC Solar produce vidrio para PV y colectores térmicos, coberturas anti-reflejantes.
	Plata, segunda superficie, con vidrio grueso y recocido.	Estratos: Vidrio – plata - cobre-primera capa -capa intermedia - capa final Reflectancia: 94%	Torre central y Fresnel	
Guardian	Espejos bajos en fierro	Vidrio de 2mm bajo en fierro. Propietarios del sistema. Cobertura protectora. Reflectancia: >93% (400°C)	Reflector secundario	Vidrio, automotriz, construcción
	Espejos bajos en fierro de segunda superficie (gruesos), y laminados (delgados).	1 a 4 mm de vidrio bajo en fierro, platinado, PVB (laminado) – 1.6 a 4mm de vidrio flotado. Reflectancia 93-95% 1 a 4 mm de vidrio bajo en fierro, platinado, 3 capas de recubrimiento protector. Reflectancia 93-95%		CSP, disco parabólico, torre y Fresnel. Vidrio Fotovoltaico.
Alanod	Aluminio Anodizado	Nano compuesto – Laminas PVD – película anodizada – tira de aluminio – película anodizada – cobertura epóxica. Reflectancia: 85-95%	CPC, cilindros parabólicos, heliostatos.	Especialistas en acabado superficial, (luz, tecnología LED y reflectores, automóviles).

Tabla 5. 15. Resumen proveedores de reflectores a nivel mundial. Continuación Tabla 5.14.

Empresa	Reflector	Proceso	Comentarios	Industrias relacionadas
Almeco solar	Aluminio	Capa superior resistente al clima – película aumentadora del desempeño óptico de reflectancia – película reflejante de aluminio puro al 99.99% - pegamento – substrato de aluminio anodizado – núcleo plástico – respaldo de aluminio – cubierta protectora Reflectancia: 90%		Cilindros Parabólicos y Fresnel. Parte del grupo Almeco. Iluminación y decoración.
Rioglass solar	Plata, segunda superficie. Reflectancia: >94%	-cobertura de plata(roció húmedo) -película base, final y protección. -respaldo de cobre.	-Espejos parabólico -Espejos planos a pedido.	Automotriz, arquitectura
Constellium	Aluminio	Reflectancia del 80%	Iluminación y arquitectura, Aeroespacial, automotriz, empaques, defensa. Socios de OxSiCoat.	

Cada proveedor presenta sus productos con distintos nombres de fantasía, y propiedades medidas según estándares propios. Las Tablas 5.16 y 5.17 presentan algunos de dichos productos y sus principales propiedades. En ella destacan los reflectores poliméricos como los más económicos, sin embargo, la experiencia en Minera Tesoro demuestra que aún se requiere perfeccionar la durabilidad de las láminas. Por otro lado los vidrios alcanzan los mayores costos pero también una mayor durabilidad, la cual ha sido probada en colectores de cilindro parabólicos y torres centrales.

Tabla 5. 16. Reflectores utilizados para CSP y sus características

Empresa	Reflector	Reflectancia	Durabilidad	Costo
Flabeg	4mm vidrio platinado, bajo en hierro	0,94 (S 7mrad)		43,2-64,8 USD/m ²
Naugatuck & Glaverbel	1mm vidrio platinado.	0,95 (S 7mrad)		16,1-43 USD/m ²
	Solar Mirror Thin	0,955 (ISO 9050)	Probada en laboratorio	
Almeco	Vegaprime	0,93 (ISO 7668)	<0,5% pérdida, en 500 h. (ISO 4623)	
	Vega SP195	>0,89 (ISO7668)		
	Vega SP295	>0,91 (ISO7668)		
	Vega SP198	>0,93 (ISO7668)		
	Vega SP298	>0,94 (ISO7668)		
	Vega WR193	0,88 ASTM G173		
	Vega WR293	>0,88 ASTM G173		
	Specular SWR686	>0,80 ASTM G173		

Fuente: [80] Almeco

Tabla 5. 17. Reflectores utilizados para CSP y sus características.[80] Continuación Tabla 5.16.

Empresa	Reflector	Reflectancia	Durabilidad	Costo
Sky Fuels*	Polímero Platinado	0,94 (S 25mrad) 0,72 (s 7mrad)		14,0-32,3 USD/m ²
3M	ECP-305*	0,95 (S 25mrad) 0,94 (S 7mrad)	De-laminación (más de 14 años de estudio)	40,9 USD/m ²
	SMF1100	0,96 (S 25mrad)	1,5 años operando y sin pérdidas	31,5-49,9 USD/m ²
Alanod	Reflective 85	0,80 (ISO 7668)		
	MIRO reflective 90	0,91 (ISO 7668)		
	MIRO high reflective 95	0,93 (ISO 7668)		
	Weatherproof 85	0,85 (ISO 7668)	10 años de garantía	
	MIRO-SUN Weatherproof reflective 90	0,87 (ISO 7668)	10 años de garantía	
	Miro-Sun aluminizado, con protector nanocompuesto	0,85 (S 25mrad) 0,773 (S 7mrad)		21,5 USD/m ²
ACA	Protect Al	0,748 (S 15mrad)	3% 1.000 Horas (rocío de solución salina)	
	Sola Gold	0,696 (S 15mrad)	3% 1.000 Horas (rocío de solución salina)	

Fuente: [80] Almeco. *(reflector desarrollado por NREL en conjunto con ReflecTech).

El reflector secundario, requiriendo de una geometría más compleja y necesidad de reducir las pérdidas por emisión térmica, ve menos proveedores apropiados que el reflector primario. Las Tablas 5.18 y 5.19, presentan algunos proveedores para el componente específico.

Tabla 5. 18. Proveedores y descripción de productos para reflectores secundarios.

Empresa	Rubro	Producto	Reflectancia	Comentarios
Guardian	Vidrios	Solar Boost-HT	93%, resiste hasta 400°C, con diferencias de hasta 200°C.	Producen el vidrio, la superficie reflectante y su protección. Humedad: ISO6270-CH>480 h Sal: ISO9227>480 h CASS: >120 h Ciclos: -40 a 90°C, >10Ciclos.
Almeco	Aluminio	Vega Specular SWR686	80 a 94%	Protegido por película transparente hidrofóbica. Humedad ISO4623:<0,5%, en 500h Sal ISO9227: <1% en 3.000h UV ISO 4892: <0,5% en 1.000h

Tabla 5. 19. Proveedores y descripción de productos para reflectores secundarios. Continuación Tabla 5.18

Empresa	Rubro	Producto	Reflectancia	Comentarios
Alanod	Luminaria	Miro-sun	88,4 a 92,8%	Resistente al agua, protegido por nano-compuesto, y respaldado con pintura epóxica. Ensayo rocío de sal acética, DIN50021: >1.000h Ensayo ΔT DIN 50928: 672horas Ensayo UV, ISO4892: 500h

5.1.6. Capacidad nacional para Fabricar los Reflectores

Como se ha visto en las secciones anteriores, existe una serie de industrias fuertemente ligadas al desarrollo de tecnologías para la concentración solar de potencia.

5.1.6.1. Capacidad Nacional para Fabricar Substratos

A continuación se presentan los indicadores macroeconómicos referentes a las importaciones/exportaciones de substratos. En la Figura 5.22 se observa la importación y exportación de vidrio producido por flotación en Chile.

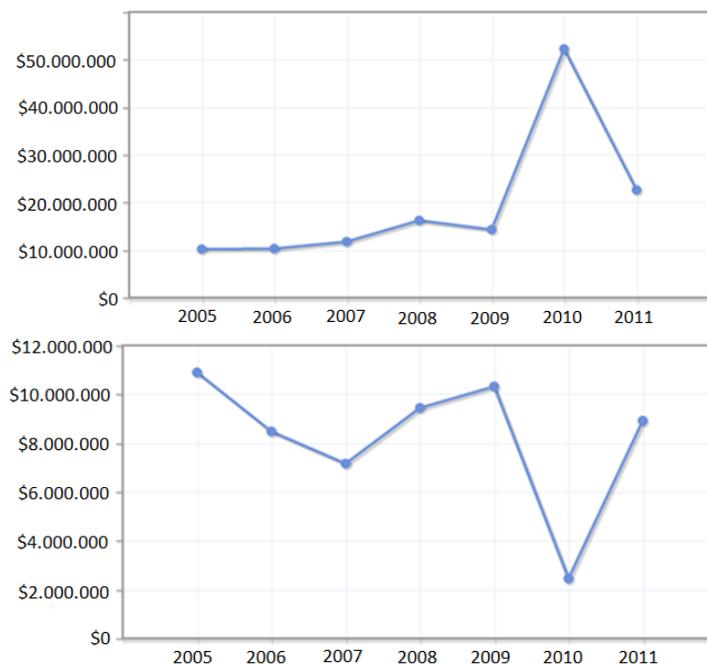


Figura 5. 22. (Arriba) gráfico de importaciones, (abajo) gráfico de exportaciones de vidrios por flotación, pulidos y rectificadas, en Chile. [85]

En el caso de Chile destaca mencionar que hacia finales del 2013 fue el 45avo mayor productor de acero en el mundo. La Figura. 5.23 describe la variación de producción de acero en Chile. Se debe tener en cuenta que pese a estar en la lista de los mayores

productores del metal, el año 2013 Chile importó hasta \$1.4 billones de dólares en acero (haciendo de este su noveno producto con mayor importación).

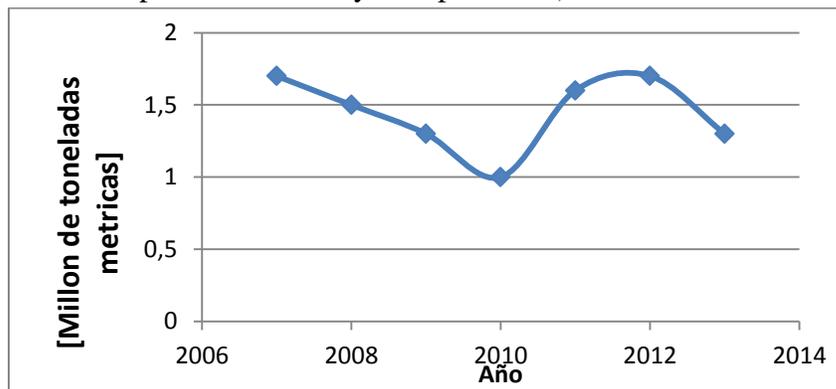


Figura 5. 23. Variación de la producción nacional de hierro [87]

Chile cuenta con una serie de comerciantes y productores de vidrios nacionales. Realizando una búsqueda en la base de datos de la SOFOFA, utilizando la palabra clave “vidrio” se ha encontrado 65 empresas que trabajan el material. Separándose en las categorías:

- Vidrios
- Vidrios de seguridad
- Vidrios laminados
- Vidrios para vehículos
- Vidrios plásticos
- Vidrios, cristales y espejos
- Frascos y botellas
- Fibra de vidrio

Al consultar a las distintas instituciones con gran presencia de marketing como Glastech, Cristales del Orto e instituciones menores dentro de la categoría vidrios, se apreció que el único proveedor nacional está ubicado en concepción, “Vidrios Lirquén”. Las demás entidades se limitan a trabajar el material, combinándolo con aluminio, laminando o plegando para reponer parabrisas, suplir a la arquitectura nacional, o importan vidrios desde el extranjero. Se observó que las instituciones productoras de envases como frascos o botellas producen su propio vidrio, pero por medio del proceso de fundición y soplado, el cual no es óptimo para las aplicaciones CSP. La Tabla 5.20 describe la producción de vidrio flotado a nivel nacional.

Tabla 5. 20. Detalle capacidad productiva en Vidrios Lirquén

Proceso	Ubicación	Capacidad productiva	Espesor nominal[mm]	Tolerancia Espesor [mm]
Flotación	Concepción	100.000 ton/año	2	1,9-2,1
			3	2,8-3,2
			4	3,8-4,2
			5	4,8-5,2

Fuente: [81] Vidrios Lirquén.

Vidrios Lirquén realiza ensayos periódicos a sus cristales a modo de asegurar un producto adecuado para sus clientes, esencialmente en el rubro de la arquitectura y con

necesidad de vidrio con alto contenido de hierro a modo de reducir la transmisión de rayos UV e infra roja por el medio. La Tabla 5.21 presenta las propiedades mecánicas medias del material producido.

Tabla 5. 21. Propiedades del vidrio fabricado por Vidrios Lirquén en Chile.

Propiedad	Valor	Observaciones
Densidad	2.500 Kg/m ³ 2,5kg/m ² * milímetro de espesor	
Ablandamiento	730°C	Aproximadamente
Trasparencia	87,2 a 88,7%	Reevaluada periódicamente
Conductividad térmica	1,05 W/m ² K	
Dilatación lineal	9x10 ⁻⁶ °C	Entre 20 y 200°C
Dureza	6 a 7 escala Mohs	Equivalente para vidrio templado, recocido o crudo.
Modulo Young	720.000 Kg/cm ²	
Coefficiente de Poisson	0,22 a 0,23	
Resistencia a la intemperie	No muestra envejecimiento	
Resistencia Química	Resistente a la mayoría de los agentes químicos, excepto ácido hidrofúrico y fosfórico. El vidrio se opaca en la presencia de álcalis, como los liberados por el cemento cuando llueve.	El ácido fosfórico solo ataca el vidrio cuando se encuentra a alta temperatura.
Resistencia mecánica, Tracción	Frágil ante tracción, con resistencias que van de los 300 a los 700 Kg/cm ² , dependiendo de la duración de la carga. Para cargas permanentes la resistencia disminuye un 40%.	Los bordes del cristal afectan la resistencia total, bordes pulidos dan mayor resistencia que los arenados, y los arenados mayor que los bordes cortados con carburo de tungsteno.
Resistencia mecánica, Compresión.	10.000 Kg/cm ² , para espesores de 1 cm.	
Módulo de rotura	Recocidos: 350 a 550 Kg/cm ² Templados: 1.850 a 2.100 Kg/cm ²	
Comentarios	El vidrio por flotación, da un 10% mayor resistencia en ambientes abiertos que un vidrio laminado.	

Fuente: [81] Vidrios Lirquén.

Uno de los principales productos de Vidrios Lirquén es el vidrio Optifloat-clear. Dicho producto es normado por los estándares de Pilkington. En el catálogo Pilkington 2014 [89] se presentan las propiedades ópticas de los productos de la institución, incluido Optifloat. En las Tablas 5.22 a 5.24 se presentan las propiedades del vidrio belga equivalente al producido en Chile.

En el catálogo comentado se utiliza la nomenclatura: U_g: Aislación Térmica, LT: Transmitancia de Luz, LR: Reflectancia de Luz, g: energía, LRO: Luz reflejada exterior, LRi: Luz

reflejada interior, Ra Índice color, ET transmitancia directa, EA reflectancia, EA absorptancia, TET energía total transmitida, SSC sombreo para longitudes de onda corta, LSC sombreo para longitud de onda larga, TSC Efecto global de sombreo.

Tabla 5. 22. Características ópticas y térmicas vidrio Opti float

Espesor	U_g W/m ² K	LT	G	LT	LRO	LRi	Ra
		%	%	%	%	%	----
2mm	5,8	91	89	91	8	8	100
3mm	5,8	91	88	91	8	8	99
4mm	5,8	90	87	90	8	8	99
5mm	5,7	89	84	89	8	8	98
6mm	5,7	88	82	88	8	8	98

Fuente: [89] Pilkington. 2014. Handbook

Tabla 5. 23. Características ópticas y térmicas vidrio Opti float. Continuación Tabla 5.22. [89]

Espesor	ET	ER	EA	TET	SSC	LSC	TSC
	%	%	%	%	--	--	--
2mm	88	8	4	89	1,01	0,01	1,02
3mm	87	8	5	88	1,00	0,01	1,01
4mm	85	8	7	87	0,98	0,02	1,00
5mm	81	7	12	84	0,93	0,04	0,97
6mm	79	7	14	82	0,91	0,03	0,94

Fuente: [89] Pilkington. 2014. Handbook

Tabla 5. 24. Características Ópticas y térmicas vidrio Opti float [89]

Espesor	S	UV	Transmitancia
	--	%	91
2mm	1,02	76	91
3mm	1,03	72	90
4mm	1,03	68	89
5mm	1,06	60	88
6mm	1,07	57	87

- **Curvatura del vidrio:** Se han encontrado tres empresas capacitadas para realizar el trabajo, Pro-glass, Glasstech y Favitorr. Dialum busca incorporar un equipo para curvar el substrato, esperando comenzar operaciones a mediados del año 2015.

Tabla 5. 25. Capacidades de curvatura encontrada a nivel nacional, por medio de entrevistas telefónicas.

Empresa	Capacidad	Geometría Límite	Radio de curvatura
Glasstech	2 cargas/día	1,0x2,0m ²	Entre 0,2 y 1 m
Favitorr	2 cargas/día	1,8x2,8m ²	Máximo 6,4 m
Dialum	Actualmente 0, comienza curvados en 2015	-----	Mínimo 1,1 m
Pro-Glass	No comentaron capacidad	1,8x2,0m ² 1,1x0,8m ² (templado)	>0,2

En el país solo se han encontrado empresas que curvan el vidrio en caliente, no se ha encontrado empresa alguna que realice doblado en frío. Destaca la importancia de curvar el vidrio en frío por su facilidad y economía al no requerir elevadas temperaturas. Es importante mencionar que los cristales curvados en caliente a nivel nacional no son capaces de mantener grandes radios de curvatura, pero la curvatura en frío ha sido especialmente diseñada para lograr dichas geometrías.

La curvatura de los espejos se ve limitada al procedimiento de curvar de forma elástica, al contener los espejos en cavidades a distancia definida para dar la geometría deseada.

5.1.6.2. Capacidad Nacional para Depositar y Trabajar Superficies Reflectantes

No se han encontrado fábricas en Chile capacitadas para realizar evaporación térmica en vacío, sin embargo, algunas de las productoras de vidrio si tienen la capacidad de generar superficies espejadas. Específicamente Vidrios Lirquén tiene la capacidad de depositar plata sobre vidrio producido por flotación, por medio del proceso descrito en la Tabla 5.26.

Tabla 5. 26. Proceso de deposición de materiales reflectantes establecido en Chile.

Proceso	Capacidad	Material reflectante	Material de Respaldo
Proyección de químicos húmedos [Deposición química de nitratos de plata]	8.000 Ton/año	Plata, depositada sobre vidrio flotado y lavado con agua desmineralizada y sensibilizado con ácido clorhídrico y cloruro de estaño.	1-Cobre de sacrificio. 2-Capa de pintura anti-corrosiva 3-Capa de pintura de resistencia mecánica y a la humedad.

Los espejos logrados por medio de este proceso de manufactura llegan a reflectancias indicadas en la Figura 5.24, y son probados de acuerdo al ensayo CASS para certificar una apropiada manufactura (la resistencia definitiva del espejo depende de que no se dañen los materiales de respaldo durante el transporte, instalación y operación del espejo). El ensayo CASS [88] consta de tomar la muestra y, momentos previos al ensayo, cortar el espécimen a un cuadrado 100x100mm. La muestra es colocada en el lugar de ensayo con sus capas protectoras (pinturas) expuestas hacia arriba. Se procede a realizar el ensayo al rociar una mezcla de:

- 5 partes en peso de sal (Na-Cl)
- 95 partes en peso de agua
- Los componentes deben asegurar su pureza al presentar una mezcla con pH entre 6 y 7.
- Se agregan 0,25g de CuCl-2H₂O, por cada litro de mezcla.
- Se regula el pH de la mezcla rociada hasta 3.1 a 3.3, agregando ácido acético.
- Se limpia la mezcla para que no muestre sólidos en suspensión.

En el caso de los espejos se mantiene el rocío durante 120 hrs continuas. Una vez cumplido dicho tiempo el espécimen es examinado en luz solar difusa, menor a 600 lux, frente a un fondo oscuro, con una lupa de aumento X7. Para aprobar el ensayo se debe cumplir con los requisitos estipulados en la Tabla 5.27.

Tabla 5. 27. Parámetros de aceptación ensayo CASS en espejos

Parámetros de aceptación ensayo CASS	
Corrosión en los bordes	Menor o igual 2,5mm
Manchas	3 con diámetro menor a 0,3mm

Fuente: [90] ASTM International

A partir del año 2015, la empresa dejará de lado la deposición de cobre en sus espejos y la reemplazara por deposición de paladio. La principal razón para esto es el impacto ambiental asociado con la deposición del cobre y su asociación con la producción de amoniaco. Por su parte, el paladio da la misma adhesión a la pintura y protección ante el oxígeno que el cobre, pero el paladio es resistente a la oxidación, brindando aún mayor protección que el cobre. En adición destaca que el paladio no presenta la difusión Ag/Cu asociada con el cobre.

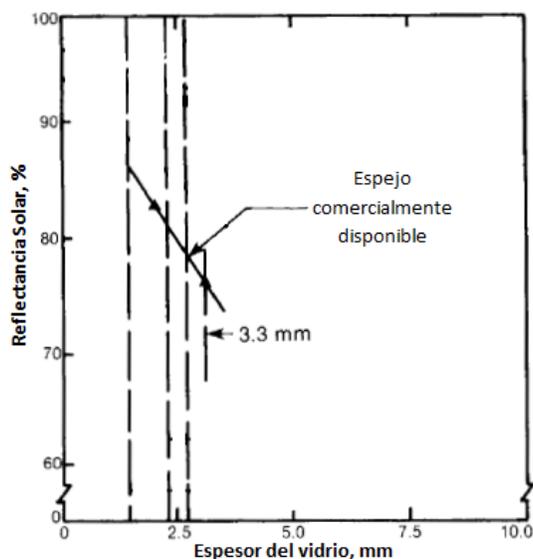


Figura 5. 24. Reflectancia de espejos disponibles comercialmente. [75]

Considerando que el vidrio más delgado que produce la empresa es de 2mm de espesor, con una transmitancia de 0,90 (considerando entrada y salida del rayo se toma 4mm) y considerando una reflectancia de la plata de entorno al 0,9 se llega a una reflectancia solar máxima de 0,81.

- **Películas reflectivas:** En la nación se cuenta con experiencia en la instalación de películas reflectivas. La empresa “Abengoa” ya ha instalado 1.280 colectores cilindro parabólico en Minera “El Tesoro”. Las instalaciones esperan entregar una potencia de 7MW, con una producción de 25 GWh térmicos-año. La inversión requerida fue de 15 Millones de USD, y utiliza la película reflectante SMF1100 desarrollada por 3M, sobre

una superficie de 5,5 hectáreas, 16.742 m² de material reflectante. Comentarios por parte del experto en el tema, muestran que la película requirió mantención adicional, al no ser capaz de soportar las inclemencias del ambiente minero.

- **Sputtering:** En relación a la deposición de material reflectante por Sputtering se ha encontrado una línea de investigación en el territorio nacional capaz de realizar la deposición de materiales altamente reflectantes sobre superficies de grandes dimensiones, los centros de estudio astronómicos. Por la misma razón que el desierto de Atacama presenta la mejor radiación solar directa en el mundo, la baja humedad ambiental y el buen clima, resulta ser el lugar ideal para realizar observaciones astronómicas. Por esta razón se han instalado un gran número de observatorios astronómicos. Se comenta que Chile cuenta con entorno al 40% de la capacidad de observación astronómica mundial y dadas las nuevas instalaciones se espera llegar a incluir hasta el 70% de la capacidad mundial hacia principios de la próxima década. Entre las instalaciones astronómicas se han encontrado nueve instalaciones con necesidad de recubrir espejos con diámetros que van desde los 0,5 a 8,2 metros de diámetro y observatorios con espejos de hasta 20” utilizados para fines turísticos. Cada espejo requiere alcanzar la mayor reflectividad especular posible, por lo cual se prefiere la utilización de técnicas sputtering. En el Anexo A se presenta el procedimiento y características empleadas para la deposición de la superficie reflectante en las instalaciones de Paranal.

Dadas la delicadeza con que deben ser transportados los espejos, las instituciones operadoras de las instalaciones suele preferir ubicar equipos de recubrimiento cercanas al observatorio mismo, a modo de reducir tiempos de envío y elevar la disponibilidad de los equipos. Reduciendo el riesgo de daños en el traslado.

Destaca la importante inversión realizada por la agencia astronómica European Southern Observatory ESO, la cual cuenta con tres plantas para deposición por evaporación física en vacío, con capacidad para depositar Aluminio, Oro, Plata, o materiales di-electros sobre substratos de vidrio óptico o cerámicas, de 1, 4.5 o 9 m de diámetro máximo. Con planes para instalar nuevas centrales de recubrimiento para tratar el nuevo espejo a instalar en el observatorio EELT (European Extremely Large telescope). A la actualidad el equipo mejor descrito es el utilizado para recubrir de aluminio el espejo principal del Very Large Telescope (VLT) en el observatorio Paranal. Descrita en el Anexo A.

Pese a que el equipo para recubrir el VLT resulta específico para dicha geometría, se está trabajando en instalar un observatorio que utiliza un espejo de 40 metros de diámetro. Para lograr la gran apertura del espejo utilizado por el EELT se utilizará 798 espejos hexagonales de 1.45 metros de largo. Se renovará el material reflectante, aluminio y plata, de dos espejos al día, logrando de esta forma renovar el espejo completo cada 18 meses.

5.1.6.3. Industrias Nacionales Consideradas para la Confección del Reflector Secundario y el Casing.

Para la fabricación del reflector secundario en Chile destaca la industria nacional de luminarias, la cual depende fuertemente de la industria proveedora de aluminio. En el país se detectaron importaciones de 6.900 toneladas en hojas y tiras de aluminio para el año 2013, 4.500 toneladas para los primeros tres trimestres del año 2014 y un precio promedio de 6.790 USD/Tonelada.

Al realizar una búsqueda en SOFOFA con la palabra clave “Luminaria” surgieron 5 empresas, las cuales presentan servicios a ingeniería y mantenimiento eléctrico, o con orientaciones comerciales, más que manufactureras de luminarias. Al realizar una búsqueda en google con la palabra clave “Luminaria Chile” destacaron las empresas:

- Elec
- EGLO
- Electro solar
- Shreder Chile
- Lámparas Chile
-

Electro solar presenta un gran vínculo para integrar paneles fotovoltaicos a luminarias. Las demás empresas no expresan claramente si son comerciales con importación de equipos o manufactura propia, con la salvedad de Lámparas Chile, que destaca sus inversiones en equipos y su tradición manufacturera.

Se entró en contacto con Lámparas Chile. Dicha institución trabaja el aluminio anodizado provisto por Almeco, las propiedades del metal son descritas en la Tabla 5.28.

Tabla 5. 28. Propiedades del aluminio Almeco S090

Propiedad	Descripción	Estándar
Aleación	1085 – Al 99,85%	EN 573-3
Acabado	Abrillantado y anodizado	
Resistencia mínima a la tracción	125 N/mm ²	EN 485-2
0,2% limite elástico	105 N/mm ²	EN 485-2
Elongación mínima al 10%	2%	EN 485-2
Reflectancia total	86	DIN 5036-3
Reflectancia difusa	15	DIN 5036-3
Reflectancia especular, a lo largo	80 (79-81)	ISO 7668
Reflectancia especular, a lo ancho	78 (77-79)	ISO 7668
Irradiancia	Normal	Interna de Almeco
Precio	24.000 CLP/Plancha	Planchas de 2,4x1,24 m ²

Fuente: [91] Almeco. 2008

La empresa declaró trabajar exclusivamente el material aluminio S090, descartando la posibilidad de utilizar otros aluminios provistos por Almeco.

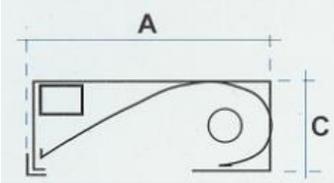
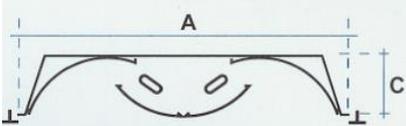
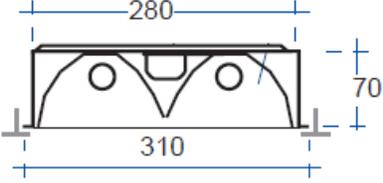
La empresa cuenta con tecnología de punta y experiencia para fabricar la geometría de reflector que resulte conveniente, incluye material reflectante, y la estructura que lo sostiene. Algunos de los equipos utilizados son presentados en la Tabla 5.29.

Tabla 5. 29. Equipos y Procesos destacados en Lámparas Chile

Equipo	Características
Punzadora	Programable, incorpora más de 30 herramientas para realizar cortes solicitados sobre planchas planas.
Plegadora	Programable, pliega el aluminio de acuerdo al programa ingresado por el operador. Puede generar superficies de curvas suaves.
Tratamientos superficiales	Fosfatado
Pintura electrostática	Cuenta con sistema para realizar la deposición electrostática y posterior horneado de la pintura.

La Tabla 5.30, presenta algunas de las geometrías ya trabajadas por la empresa.

Tabla 5. 30. Algunos productos fabricados por Lámparas Chile, con B el largo del módulo

Modelo AEAS	Modelo CTLI	Modelo AET55
		
A: 160, 220, 300 mm B*: 633, 1.243 mm C: 100 mm	A: 600 mm B*: 600, 1.220 mm C: 125 mm	B*: 1.210 mm
Luminaria fluorescente asimétrica, con estructura de acero fosfatado. Reflector de aluminio anodizado	Luminaria fluorescente con tubo traslapado, fabricado en acero termo esmaltado. Reflector de acero blanco, o aluminio especular.	Cuerpo de acero laminado y esmaltado. Difusor aluminio anodizado especular de alta pureza, geometría de parábola completa.

Fuente: [91] Lámparas Chile Ltda

Al interactuar con la empresa manufacturera de colectores planos, Britec, declararon tener contacto y facilidad para obtener los materiales provistos por Almeco, como la línea “Vega Specular”. Britec mostro interés en desarrollar una machina plegadora de aluminio, en caso de que surjan proyectos que requieran del material y geometrías establecidas.

5.1.7. Análisis FODA y resumen de la sección referente a reflectores

En la presente sección se ha observado la gran variedad de productos disponibles en el mercado. Se observa que en general se prefiere la utilización de reflectores de segunda superficie, con material reflectante depositado por sputtering. El substrato con mayor utilización es vidrio, por haber demostrado su con alta durabilidad en instalaciones existentes. Los reflectores de vidrio resultan ser muy costosos, dando espacio en el mercado para la aplicación de reflectores de aluminio anodizado y láminas de materiales compuestos, los cuales se prueban más económicos pero con mayor necesidad de

mantenimiento y recambio. Los reflectores económicos alternativos resultan ser una de las principales líneas de investigación, junto con aumentar la reflectancia y durabilidad del espejo, y reducir los requerimientos de aseo al aplicar coberturas especializadas.

En el caso de Chile se encontró tan solo un proveedor de espejos de vidrio platinado, los cuales no han sido sometidos a pruebas apropiadas para certificar su durabilidad en ambientes desérticos. Actualmente no produce vidrio bajo en hierro, limitando la reflectancia de sus espejos producidos a un estimado de 0,8. Los espejos producidos no se comparan a los provistos en el mercado internacional, los cuales alcanzan reflectancias de hasta 0,94. Sin embargo la institución nacional cuenta con acceso a vidrio especializado, por medio de la institución global a la que pertenece, facilitándole la posibilidad a producir espejos de alta reflectividad solar.

En relación al trabajo con aluminio se encontraron dos instituciones con acceso y capacidad para trabajar el material provisto por uno de los proveedores de material especializado. Ambas instituciones presentan facilidad para orientarse en el desarrollo de reflectores secundarios y su encapsulamiento.

Se menciona también la reciente instalación de Rioglass en Chile, uno de los principales proveedores de reflectores, dando a la nación una posición privilegiada en el acceso al componente, respecto a la región. También cabe mencionar la relación que podría surgir entre la industria CSP y los observatorios astronómicos en la región.

Se hace mención a la sustentabilidad ofrecida por los reflectores de vidrio, considerando los reflectores dañados como excelente materia prima para la confección de reflectores nuevos.

A continuación se presenta el estudio de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas observado para la confección de reflectores.

Tabla 5. 31. FODA confección de espejos en territorio nacional

Fortalezas	Debilidades
Existencia de línea de producción de vidrios por flotación.	Carencia de equipos y estándares para medir la calidad del producto.
Existencia de línea para producción de espejo platinado.	5 días de espera para cambiar propiedades del vidrio a generar en la línea de producción.
Apoyo técnico/económico de Pilkington y Saint-Gobain en la fabricación de vidrio y espejos.	Actual fábrica de flotación en Concepción. A más de 1.000 km del punto de instalación.
A diferencia de los cilindros parabólicos, los colectores Fresnel no requieren exclusivamente espejos curvados.	Demanda mínima demasiado elevada para justificar la adquisición de equipos y tecnología.
	Capacidad productiva limitada a producción de vidrio arquitectónico, con elevado contenido de hierro.
	Durabilidad por ser demostrada en ambientes abiertos.

Tabla 5. 32. FODA confección de espejos en territorio nacional. Continuación Tabla 5.31

Oportunidades	Amenazas
Espejos de alta reflectancia pueden generar grandes ingresos.	Elevados costos para reajustar la tecnología existente.
Alto requerimiento de energía térmica por parte del estado Chileno.	Desarrollo de tecnologías de superficies reflectantes en base a polímeros sobre aluminio. Skyfuel y 3M. Desincentivan la producción de vidrio low-fe en el país.
Posible sinergia o préstamo de servicios a observatorios en el norte del país.	
Potencial para exportar el componente a otras regiones de Latino-América	Brecha para asegurar alcanzar los requerimientos de reflectancia.
Inversión en nueva tecnología para la deposición de superficies reflectantes sobre vidrio. Más resistente y menos contaminante.	Mercado internacional con gran disponibilidad de vidrios con distintos espesores, transmitividad.
Instalación de planta Rioglass en Antofagasta.	Elevados costos para desarrollar deposición por sputtering, demanda mínima para hacer viable el proyecto es muy elevada.

5.2. Absorbedor

5.2.1. Características del Absorbedor

En la sección anterior se describió el reflector secundario, encargado de recuperar la radiación que en otra instancia se perdería al nunca llegar a algún tubo receptor. En esta sección se describirá la funcionalidad y requerimientos de los tubos absorbedores.

El fluido a calentar se desplaza por uno, o múltiples, tubos ubicados en el punto de enfoque, similar a como operan los colectores parabólicos. Para reducir las pérdidas ópticas, el tubo absorbedor es colocado dentro de una cavidad receptora, rodeado de una superficie reflectora secundaria. Así, la cavidad receptora queda constituida por el tubo absorbedor, los reflectores secundarios y una cubierta opcional de vidrio. Los rangos de temperatura de operación para el receptor quedan restringidos a los límites térmicos de sus componentes.

Los tubos colectores suelen estar fabricados a partir de tubos de acero inoxidable, pero no necesariamente están restringidos a este material. El diámetro de los tubos varía para adecuarse a los requerimientos de presión y caudal de cada proceso. [92]

El tubo receptor corresponde a un cilindro por el cual circula el fluido térmico, el fluido absorbe la energía radiativa y la transfiere por conducción y convección hacia el fluido de trabajo. Así, un tubo absorbedor puede corresponder desde una cañería hasta aleaciones recubiertas en materiales selectivos y aisladas por vidrios especiales y vacío.

Al seleccionar el material sobre el cual se fabricarán los tubos es importante tener en consideración las siguientes pérdidas que se producen en el receptor [17].

- **Pérdidas por radiación del absorbedor:** Es importante seleccionar materiales con baja emisividad o cubrirlos con algún material que le entregue dicha propiedad, a modo de evitar que el tubo receptor pierda energía por el proceso de radiación.

- **Pérdidas por convección:** Debido a que el tubo receptor presenta una mayor temperatura que su entorno comienza a intercambiar calor con el ambiente. Para reducir esta pérdida es posible aislar el tubo receptor al encapsularlo en un cilindro de mayor diámetro y generar un vacío entre los dos cilindros. Este método es especialmente utilizado al trabajar con fluidos a alta temperatura.

Otra alternativa para reducir las pérdidas por convección, es la de incorporar una cubierta plástica o de vidrio a la sección inferior del receptor. El objetivo de esta adición es la de reducir el efecto del viento sobre la convección, evitando la convección forzada. Para esta técnica es importante la utilización de materiales con una alta transmitividad, baja reflectividad y baja absorptancia, a modo de maximizar la radiación captada por el receptor.

Se destacan tres diseños genéricos relevantes en el receptor, cada uno incorpora sistemas adicional para reducir las pérdidas térmicas y optimizar la absorción energética en el fluido.

- **Cilindro absorbedor:** Se puede utilizar un cilindro absorbedor confeccionado desde una cañería convencional de **acero, cobre o aluminio**, solo debe ser capaz de contener el fluido de transferencia térmica y estar expuesto a la radiación reflejada desde el campo primario y secundario. Para aumentar la absorptancia y reducir la reflectancia del tubo es posible recubrirlo con pinturas y materiales para reducir la reflectancia y aumentar la absorptancia, incluso reducir la emitancia.
- Se puede incorporar una **cubierta de vidrio** en el receptor, a modo de evitar las pérdidas por convección. La cubierta puede corresponder a un cilindro de vidrio que envuelve al tubo receptor, reduciendo las pérdidas por convección forzada con viento, o la incorporación de una lámina de vidrio en la sección inferior del receptor a modo de reducir las pérdidas por convección.
- Para reducir aún más las pérdidas por convección se utiliza la cobertura de vidrio para contener el tubo absorbedor en **vacíos** de en torno a 10^{-3} Torr, limitando las pérdidas térmicas casi exclusivamente a radiación de cuerpo.

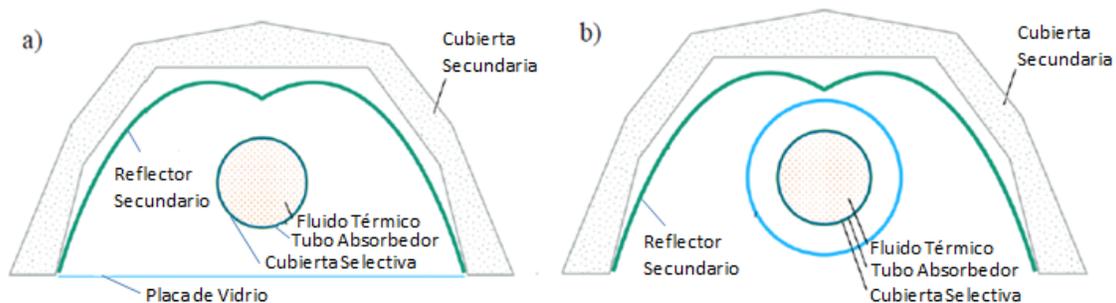


Figura 5. 25. (a) Esquema de receptor con cobertura estable en el aire, y placa de vidrio plana, (b) Esquema de receptor con tubo envuelto por cilindro de vidrio, el cilindro de vidrio podría contener vacío. [94]

Se utilizan herramientas relativamente sofisticadas, utilizando modelos de rastreo de rayos e intercambio de calor para estimar la radiación que efectivamente incide sobre el receptor para ser transformada en energía útil. En la Figura 5.26 se observa como como el tubo absorbedor reduce la llegada de rayos a la sección superior del receptor. Destaca que cada rayo pierde energía en función de las veces que es reflejado. Al utilizar modelos como los descritos se puede estimar las pérdidas por:

- Pérdidas Ópticas
- Absorción en componentes distintos al tubo absorbedor
- Emisión de cuerpos a temperatura distintas al cero absoluto
- Radiación reflejada por parte del cilindro absorbedor
- Pérdidas por convección
- Pérdidas por conducción en los elementos de suspensión para el cilindro absorbedor

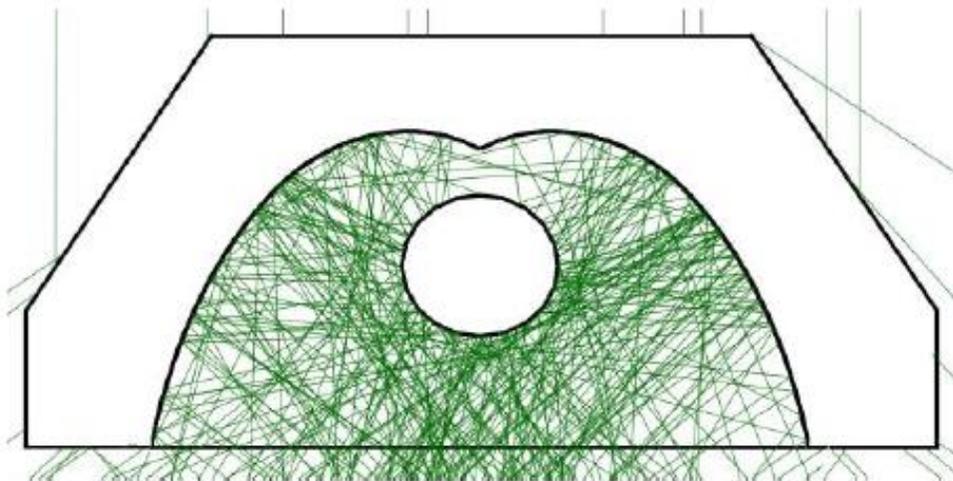


Figura 5. 26. Ilustración del estudio de seguimiento de rayos [93]

Tras considerar los distintos mecanismos por medio de los cuales es posible transferir calor, la interacción entre los diferentes componentes del colector, e incorporar las pérdidas, se llega a un modelo como el planteado en la Figura 5.27. Para comprender el modelo se incluye una descripción de la nomenclatura e identificación numérica empleada por A. Heimsath “et al” en la Tabla 5.33.



Figura 5. 27. Ilustración de las componentes requeridas para realizar el balance térmico en el receptor. [93]

Tabla 5. 33. Estructura numérica para el modelo planteado en la Figura 5.27.

Identación	Superficie	Identación	Superficie
1	Fluido Térmico	7	Superficie externa del reflector secundario
2	Superficies interna del absorbedor	7g	Superficie externa de la placa de vidrio
3	Superficies externa del absorbedor	8	Superficie interna de la cubierta
6	Superficie interna del espejo secundario	9	Superficie externa de la cubierta
6g	Superficie de la palca de vidrio	10/11	Suelo o aire/cielo

Fuente: [94] A. Heimsath “et al”

Para facilitar el análisis, se suele utilizar un modelo simple de temperatura para estimar las pérdidas térmicas, con lo cual se llega a expresiones como las presentadas en las Ecuaciones 5.7, y 5.8.

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s\ t\acute{e}rmic\acute{a}s = u_0 T_{abs} + u_1 T_{abs}^4 \quad Ecuaci\acute{o}n\ 5.7.$$

$$P\acute{e}rdid\acute{a}s\ t\acute{e}rmic\acute{a}s = u_2 T_{abs} + u_3 T_{abs}^2 \quad Ecuaci\acute{o}n\ 5.8.$$

Para mejorar las propiedades del absorbedor se deposita material selectivo sobre él. Los materiales selectivos corresponden a algún material que aumente las propiedades deseadas. Usualmente se utilizan materiales con buena conducción térmica (como cobre, aluminio o acero) recubiertos por materiales que le den una buena absorción y baja emisividad al absorbedor. Los recubrimientos se subdividen en seis categorías:

- **Intrínsecos:** Utiliza materiales que presenten las propiedades deseadas en el rango espectral deseado.
- **Tandem semiconductor-metal:** Utiliza el ancho de banda semiconductor para absorber radiación de ondas cortas, y el metal para reducir la emisividad térmica.
- **Multicapa:** Utiliza diferentes reflexiones entre capas para absorber la radiación, la combinación de capas se ajusta para optimizar el absorbedor.
- **Recubrimiento de compuesto multi-dieléctrico:** Utiliza finas partículas de metal en una matriz cerámica.
- **Superficie texturada:** Aprovecha microestructuras dendríticas, porosas o con forma de aguja para reflejar múltiples veces la radiación sobre el cuerpo, aumentando así su absorción.
- Recubrimiento de transmisión solar selectiva sobre absorbedor de cuerpo negro.

Distintas instituciones utilizan diferentes técnicas para alcanzar las propiedades deseadas, pero no se cuenta con sistemas de estandarización globalizados. Las principales consideraciones que se deben son las características ópticas, térmica y su durabilidad.

Para caracterizar térmicamente el componente se pueden utilizar banco expuesto a radiación ambiental y medir la diferencia de temperatura de un fluido que entra y sale del cilindro. Otra alternativa es la de utilizar bancos de prueba en laboratorios, donde se calienta el fluido hasta mantener el equilibrio térmico, luego se considera el calor aportado por medio de calefactores equivalente al perdido.[94]

Para la caracterización óptica se puede utilizar la norma ASTM E424-71, en un ensayo destructivo. O utilizar la técnica no destructiva desarrollada por NREL, donde se mide como aumenta la temperatura de un fluido dentro del absorbedor al ser expuesto a diferentes intensidades de radiación solar.[95] Otras empresas también han desarrollado técnicas propias para medir las características ópticas de cilindros absorbedores, pero incorporan elementos calefactores para caracterizar el componente a diferentes temperaturas.[96]

Para caracterizar la durabilidad aún se evalúan ensayos que entreguen observaciones reales, el ensayo más exigente mencionado en la literatura corresponde al estudio “Task X”. En el estudio se mide la adhesión de la superficie selectiva (norma ISO4624) y la relación entre absorción y emisividad del componente. Las mediciones se realizan luego de ser expuesto a periodos de humedad, y ambientes sulfurosos.

5.2.2. Materiales

5.2.2.1. Materiales de la Cañería Interna.

La cañería central de un receptor puede ser fabricada a partir de una serie de materiales, entre metales y plásticos. En la Tabla 5.34 se presentan algunos materiales utilizados como substrato para cañerías absorbedoras de radiación producidas de forma comercial. Se menciona que las cañerías son recubiertas con otros materiales, a modo de intensificar las propiedades de absorción selectiva del componente.

Tabla 5. 34. Materiales utilizadas para confeccionar la cañería del absorbedor

Material	Conductividad térmica [w/mK]	Absortancia solar	Desventajas	Utilización
Acero carbono	47-54	0,85	Rápida degradación	
Acero inoxidable	16-19	0,39-0,58	Baja conductividad	<ul style="list-style-type: none"> • SEIDO 6-1, 6-2, 6-3 • Schott PTR70
Aluminio Anodizado	205-250	0,27-0,86	Buen material ampliamente utilizado	• Bay Solar DN701
Óxido de Aluminio	30	0,27-0,86	Baja conductividad térmica, se utiliza en la cobertura de cañerías de aluminio.	
Cobre	398-401	0,3-0,98	Costos	<ul style="list-style-type: none"> • Solar skies SS series • Apricus AP
Cobre Berilio	210	0,31		
Polipropileno	0,1-0,22		Rápida degradación, baja conductividad	• THC, ecopanel
Acrílico	0,2	0,35		
Polyetileno	0,3	0,93	Baja conductividad	
Vidrio	1,1	0,87-0,89	Frágil	Recubrimient al vacío

Fuente: [98] John H. Henninger.[99] The Engineering Toolbox

Las cañerías más utilizadas son las de cobre, aluminio y acero. Cada una cuenta con sus propias ventajas y desventajas, desde los costos, resistencia química - mecánicas a sus propiedades térmicas.

Para reducir las pérdidas térmicas por convección el cilindro receptor puede ser encapsulado en un ambiente vacío o una atmosfera definida, dicho ambiente suele ser contenido dentro de un cilindro de boro-silicato, cubierto con una película anti reflectante.

5.2.2.2. Recubrimientos selectivos

Dado que los materiales con buena conductividad térmica no suelen presentar baja absortancia, se utilizan coberturas como pintura negra para aumentar la absortancia del receptor. En las Tablas 5.35 y 5.36 se describen algunos recubrimientos selectivos empleados en la fabricación de cilindros absorbedores. Es importante destacar que los recubrimientos están restringidos a operar a en cierto rango térmico, a mayores temperaturas no solo aumenta la emitancia del material, sino que también se desprende o daña el recubrimiento.

Tabla 5. 35. Materiales utilizados para recubrir absorbedores.

Material	Substrato	Absort	Emisiv	Rango de temp.[°C]	Deposición
Tinox energy, producido por Almeco	Cobre o Aluminio	0,95 solar (a 100 °C)	0,04 (a 100 °C)	0 – 195	Láminas soldadas sobre cobre o aluminio
Tinox nano, producido por Almeco	Cobre o Aluminio	0,90 solar (a 100°C)	0,05 (a 100°C)	0 – 175	Láminas soldadas sobre cobre o aluminio
Pintura negra		0,91 a 0,98	0,50 a 0,96	<200	
Cu-Co-Mn-Si-O		0,95 (a 100 °C)	0,12 (a 100°C)	<400	Sol-gel, cobertura por inmersión.
Al₂O₃:Ni		0,97	0,05		Sol Gel por rotación
Titaniuml Anodizado Azul.		0,70	0,13		Película soldada
Película de cobre simple		0,32	0,02		Película soldada
Película de cobre lijada		0,26	0,04		Película soldada
Película de cobre gastada		0,55	0,04		Película soldada
TSSS, fabricado por Solariselect	Aluminio	0,92	0,02 (a 100 °C)	<135	Pintura
PbS	Aluminio	0,93-0,99	0,21-0,10 (a 100°C)	200	Evaporación térmica
NiCroO_x	Acero inoxidable	0,80	0,14	<200	Sputering
NiCroO_x	Poliamina o cobre	0,92-0,93	0,06	<200	Sputering
Cr,Fe,Mo,Ta, Ti, silicatos de W, y Acero Inox	Cobre	0,76-0,82	0,02	250-400	Sputtering
Ag dieléctrico	Aluminio			300	Sol-gel
Acero inoxidable de color.		0,62-0,93	0,10	<200	Fabricación del substrato
Níquel negro (NiS-ZnS) fabricado por Maxorb.	Acero inox o Níquel	0,88-0,96	0,03-0,10	<200	Electrodeposición
Película de grafito: C:H	Aluminio	0,88	0,061	250	Evaporación física en vacío

Fuente: [100] Okitsumo., [101] Solar mirror., [102] C.E. Kennedy

Tabla 5. 36. Materiales utilizados para recubrir absorbedores. Continuación Tabla 5.35.

Material	Substrato	Absort	Emisiv	Rango de temp.[°C]	Deposición
Película de grafito. C:H/Cr	Cobre	0,92	0,025	250	Evaporación física en vacío
Níquel negro, Ni-Sn. Black Crystal.	Cobre	0,92-0,98	0,08-0,25	300	Electrodeposición o Sol-Gel
Ge en pegamento de Si.	Cobre o acero inox	0,91	0,70	300	Pintura
Si en pegamento de Si.	Cobre o acero inox	0,83	0,70	300	Pintura
PbS en pegamento de Si.	Cobre o acero inox	0,96	0,70	300	Pintura
Cromo negro Cr-Cr₂O₃. Producido por, MTI, Chromecoat, Energie Solaire	Ni-Cu, cobre, acero	0,97	0,09	350	Electrodeposición
Cromo negro, Mo/Cr₂O₃	Ni-Cu, cobre, acero	0,95	<0,3	425	Electrodeposición
TiN_xO_y	Cobre	0,92	0,06		
CuFeMnO₄/Si	Vidrio, Silicio	0,60	0,29-0,39		
Cr,Fe,Mo,Ta, Ti, carbonos de W, y Acero Inox	Cobre	0,76-0,81	0,02	250-400	Sputtering
Cobre negro, BICu-Cu₂O:Cu	Cobre	0,97-0,98	0,02	250	Electrodeposición
Ni,Al₂O₃, producido por Tekno Term, Energi Showa	Aluminio	0,85-0,97	0,08-0,21	300-400	Anodizado

Fuente: [100] Okitsumo., [101] Solar mirror. , [102] C.E. Kennedy

5.2.3. Procesos de manufactura

Como se mencionó en la caracterización del absorbedor, cualquier tubo por medio del cual circula el fluido para la transferencia térmica puede ser considerado un absorbedor, en

el sentido de que absorbe energía para calentar el fluido. Así se mencionan los procesos de soldadura, hilado y acople para la unión de las cañerías entre sí y los elementos de sujeción.

Para mejorar las propiedades como absorción, y emisividad del receptor se le suele depositar materiales que le entreguen las propiedades requeridas al cilindro. Los procesos de manufactura para los principales materiales absorbentes suelen ser similares a los utilizados para depositar la superficie reflectante de los reflectores, tal como procesos de Evaporación Física en el Vacío, Sputtering, Pinturas o láminas adheridas.

Tres procesos cobran especial importancia en la manufactura de los absorbentes, son el proceso de deposición de pinturas, por Sol-gel y sputtering.

- **Pintura:** Existen distintas tecnologías para pintar materiales, destaca la utilización de pinturas ricas en óxido de cromo negro, material altamente utilizado antes de la utilización de materiales electro-depositados, como Tinox. La pintura puede ser depositada por medio de:
 - Aerógrafo: Se utiliza aire a presión para rociar la superficie a cubrir con la pintura deseada.
 - Baño en cascada: Se hace pasar la superficie por una cascada de pintura para cubrirla completamente.
 - Baño por inmersión: La cañería es sumergida en la pintura y se le permite gotear antes de pasar al proceso de curado.
 - Electro-deposición: se induce corriente eléctrica a la superficie que se desea cubrir, por medio de la estática partículas de la pintura se adhieren a la superficie, rellenando cavidades difíciles de cubrir con otras técnicas. Luego la pieza se coloca dentro de un horno para formar una superficie homogénea sobre el material.
- **Sol-gel:** El proceso sol-gel es utilizado para depositar material anti-reflectante. La cobertura utilizada consiste en variar la estructura porosa depositada en la superficie del cilindro para generar un gradiente del índice de reflectividad entre la superficie expuesta al aire y la superficie del cilindro de vidrio. Debido a dicha gradiente, la reflectividad puede ser reducida al mínimo teórico. Para realizar el recubrimiento, el cilindro es sumergido en una solución contenedora de dióxido de silicio, ácido-modificada, y es recuperado del contenido a una velocidad de 1cm/seg. Se espera que la superficie final cuente con una cobertura de 110 nm de espesor. Para obtener la superficie porosa de la película se incorpora material “porogen” a la solución, material que es removido de la cobertura durante el proceso de tratamiento térmico aplicado al receptor. El procedimiento Sol-gel es ampliamente utilizado para depositar cubiertas anti-reflejantes en vidrio arquitectónicos y receptores.



Figura 5. 28 Presentación sistemas con cubierta selectiva y sin ella. [102]

- Sputtering:** La superficie selectiva del absorbedor requiere una composición homogénea precisa y un espesor establecido constante, para grandes superficies de material. Dichas propiedades se logran por medio de la tecnología de sputtering. El proceso está basado en la descarga auto-sostenida de gases nobles, o plasma, en una cámara de ambiente vacío. Primero, el gas es ionizado a baja presión. Luego los iones son acelerados por medio de la aplicación de un campo eléctrico y los iones son forzados a colisionar contra el material que se desea depositar sobre el receptor. Así el material a depositar se desprende de la matriz inicial y se deposita sobre el sustrato del receptor. Para dar distintas composiciones a la capa selectiva se cambia el material objetivo y los aditivos incorporados al gas noble en el ambiente.

5.2.4. Mercado Internacional

Para evitar las pérdidas de calor por convección, los tubos absorbedores suelen ser encapsulados en cilindros de vidrio al vacío. Así han surgido empresas especializadas en evacuar cilindros de vidrio y sellarlos. A nivel mundial destacan las empresas presentadas en las Tabla 5.37.

Tabla 5. 37. Algunos productores de absorbedores encapsulados en cilindros de vidrio al vacío en el mundo

Empresa	Fábricas	Capacidad
Schott	Alemania España	>1millon de unidades en 9 años.
Bay solar	China	-----
Kingspan Renewables	Reino unido	30.000 m ² el 2013
Narva	Alemania	15.000 m ² el 2013
CIB	China	120.000 m ² 2013
Sunda	China	40.000 m ² el 2013
Tsinghua	China	750.000 m ² el 2013
Himin	China	1,700.000 m ² el 2013
Sunpower	China	85.000 m ² el 2013
Sunrain	China	5.000.000 m ² el 2013
XNE Group	China	12.000 m ² el 2013
Dr. Xia	China	150.000 m ² el 2013
Sunshore	China	600.000 m ² el 2013

Fuente: [101] C.E. Kennedy

En referencia a los materiales utilizados para realizar la cobertura selectiva, en el plano internacional existe una serie de materiales disponibles para el absorbedor. En ellos

se busca que presenten baja emitancia a elevadas temperaturas, alta absorbancia y estabilidad en los rangos de temperatura solicitados. Las Tablas 5.38 y 5.39 presentan materiales de absorbancia selectiva para rangos de medias y altas temperaturas.

Tabla 5. 38. Absorbedores de media temperatura comercialmente disponibles a nivel mundial

Empresa	Cobertura	Absortancia	Emitancia	Estab térmica
Nitto Kohki, Japon	SS-C	0,93	0,04 a 100°C	300°C en vacío.
Alanod Solar, Alemania	Sunselect (Cu)	0,95	0,05 a 100°C	-
	(CrN-Cr _x O _y)			
	Mirotherm®(Al)	0,95	0,05 (°C desconocidos)	
	Mirosol® (Al)	0,90	0,15 (°C desconocidos)	
Bluetec, Alemania	Eta Plus (cobertura cermet)	0,95	0,05 a 100°C	350-500 en vacío.
Almecco-TiNOX, Alemania	TiNOX energy Al	0,95	0,04 a 100°C	-
	TiNOX energy Cu	0,95	0,04 a 100°C	-
S-Solar (Sunstrip), Suecia	Ni-NiO	0,96	0,10 a 100°C	300°C
Plasma, Macedonia	TiC/TiO _x N _y /AlN	0,95	<0,10 a 100°C	350°C
Ikarus Coatings, Alemania	a-C:H/Cr	0,92	0,08-0,09 a 100°C	250°C
Schott, (Spezialglas), Alemania	Aluxid	0,95	0,05 (°C desconocidos)	280°C

Fuente: [103] N. Selvakumar y H. C. Barshilia

Tabla 5. 39. Absorbedores de alta temperatura comercialmente disponibles a nivel mundial

Empresa	Cobertura	Absortancia	Emitancia	Estabilidad térmica
Angelantoni-ENEA, Italia	Mo-SiO ₂	0,94	0,13 a 580°C	580°C en vacío
	W/W-	0,93	0,10 a 400°C	
	Al ₂ O ₃ /Al ₂ O ₃		0,14 a 550°C	
Siemens, ExSolel, Alemania	Al ₂ O ₃ , Cermet	0,96	0,10 a 400°C	400°C
	Mo-Al ₂ O ₃	0,96	0,16 a 350°C	350-500°C en vacío
	W-Al ₂ O ₃	0,96	0,10 a 400°C	350-500°C en vacío
Schott, Alemania	-	0,95	0,1 a 400°C	500°C en vacío
Rioglass	UVAC 7G	0,96	0,1 a 400°C	Fluido a 400°C, en vacío.

Fuente: [103] N. Selvakumar y H. C. Barshilia

El proceso completo de producir los absorbedores al vacío requiere una elevada inversión y desarrollo tecnológico y existen pocas instituciones capaces de producir el elemento. Se han identificado solo tres entidades capaces de producir el receptor a nivel comercial: Siemens (por medio de la adquisición de Solel), Schott (con instalaciones en España) y la empresa China Sunda con su tubo receptor SEIDO 6, presentada en la Tabla

5.40. Dada las especificaciones de realizar deposiciones sobre un cilindro, son escasas las aplicaciones que se les da a los equipos de sputtering para absorbedores fuera de la línea solar, resultando en una tecnología con mercado acotado y elevados costos iniciales.

Tabla 5. 40. Propiedades de los tubos absorbedores SEIDO 6

	SEIDO 6-1	SEIDO 6-2	SEIDO 6-3
Largo	2.000 mm	2.000 mm	4.060 mm
Diámetro tubo absorbedor	38 mm	63,5 mm	70 mm
Diámetro capsula de vidrio	102 mm	102 mm	115 mm
Absorbancia	≥0,94		
Emitancia	≤0,08 (80°C)	≤ 0,12 (400°C)	
Transmitancia del vidrio	≥0,95		
Vacío	≤ 0,01(Pa)		
Temperatura de operación	300 °C	390 °C	450 °C
Presión de trabajo	1,5 MPa	3 MPa	4 MPa
Peso	6,5 Kg	10 Kg	25 Kg

Fuente: [105] Sunda. 2013.

5.2.5. Industria Nacional

Hasta el año 2013 Chile contaba con un gran proveedor de cañerías de cobre, Madeco, empresa que cambió su rubro a la producción de empaques alimenticios. Madeco llevo a contar con 18 plantas distribuidas en Argentina, Brasil, Perú y Chile, trabajando 306 mil toneladas de cables, tubos, planchas y otros productos de cobre. El cierre de Madeco es atribuido esencialmente a los elevados costos de producción, con especial consideración por los costos de la energía. Actualmente la productividad nacional de cañerías de cobre se ve relegada a actores como Themco y EPC, con una producción de 12.250 toneladas en cañerías y planchas de cobre y una exportación cercana a las 2.500 toneladas en cañerías de fabricación nacional (para los primeros tres semestres 2014). Una sinergia con la industria CSP podría re-incentivar la producción de cobre trabajado en el país, generando un círculo virtuoso con la gran industria nacional.

En el país se ha instalado un gran número de representantes de industrias fabricantes de colectores planos y de receptores evacuados. Algunos proveedores son presentados en la Tabla 5.41. Se hace notar que las empresas mencionadas no elaboran sus propios equipos receptores más bien comercializan con equipos importados. Tan solo se identificaron dos instituciones dedicadas a manufacturar sus propios colectores (Britec y THC).

Tabla 5. 41. Empresas chilenas dedicadas a la implementación y comercialización de colectores solares para baja temperatura.

Empresa	Representa a	Empresa	Representa a
ISENER	SRB (UHV)	Junkers, grupo Bosch	Bosch
Chilectra	Chromagen Solar Electric	Inge Solar	ROCA

Tabla 5. 42. Empresas chilenas dedicadas a la implementación y comercialización de colectores solares para baja temperatura. Continuación Tabla 5.41.

Empresa	Representa a	Empresa	Representa a
Ecral	Colector solar PS 2.0 Captador y acumulador Autocalor	THC	Ecopanel
Energy group	SunPlus	Golden Energy	Solar PST
Empresa	Representa a	Anwo	Termicol

Fuente: [105] Corporación de Desarrollo Tecnológico

Como se mencionó previamente, tan solo se encontraron dos empresas que desarrollan colectores solares. La Tabla 5.43 presenta un resumen de las capacidades productivas y limitaciones de los productos trabajados en las instalaciones establecidas en Chile.

Tabla 5. 43. Instaladores de material absorbedor solar en Chile

Empresa	Producción	Ubicación	Características
Britec, Codelco	3.400 m ² al año (cobre cubierto en Tinox Cu)	Providencia, RM	Absorbancia de 0,91 a 0,94, y emitancia acorde a la Figura 5.29.
THC	18.000 m ² Al año (Polipropileno)	Pudahuel, RM	Utilizado solo para bajas temperaturas

Fuente: [106] Corporación de Desarrollo Tecnológico

Se menciona especialmente la empresa Britec, con experiencia en la manipulación de Tinox. Este es un material de alta absorbancia, y baja emisividad, capaz de trabajar en un amplio rango de temperaturas. La Tabla 5.44, describe las principales características del Tinox trabajado, y la Figura 5.29, presenta su emisividad en función de la temperatura.

Tabla 5. 44. Propiedades de las películas de absorción selectiva Tinox

Característica	Medida
Absorción	95% ± 2%
Emisividad (100°C)	4% ± 2%
Razón de absorción Solar	23,75 (>18, altamente selectivo)
Color	Azul intenso para ángulos entre 270° y 300°
Formato entrega	Rollo o Planchas
Substratos	Cobre Cu-DHP, o Cu-OF Aluminio 99,58% de pureza
Espesor del sustrato	0,12-0,50 +/- 0,02 mm, para Cu 0,30-0,60 +/- 0,02 mm, para Al
Ancho	1.250 mm
Elongación del sustrato	Cu: 8% Al: 1%
Resistencia a la tracción del sustrato	Cu: 240-300 N/mm ² Al: 120-160 N/mm ²

Fuente: [106] Almeco Group.

Tabla 5. 45. Propiedades de las películas de absorción selectiva Tinox. Continuación Tabla 5.44

Característica	Medida
0.2% límite elástico del sustrato	Cu: 180 N/mm ² Al: 105 N/mm ²
Radio de curvatura mínimo	Cu: 5 mm Al: 10 mm
Calidad superficial, Ra del sustrato	Cu: 0,5 μm Al: 0,5 μm
Densidad del sustrato	Cu: 8,92 g/cm ³ Al: 2,71 g/cm ³
Conductividad térmica del sustrato	Cu: >320 W/mK Al: >230 W/mK
Aseo	Utilizando un paño suave y alcohol
Coficiente de pérdida	2,881 W/m ² K, 0,012W/m ² K ²

Fuente: [106] Almeco Group.

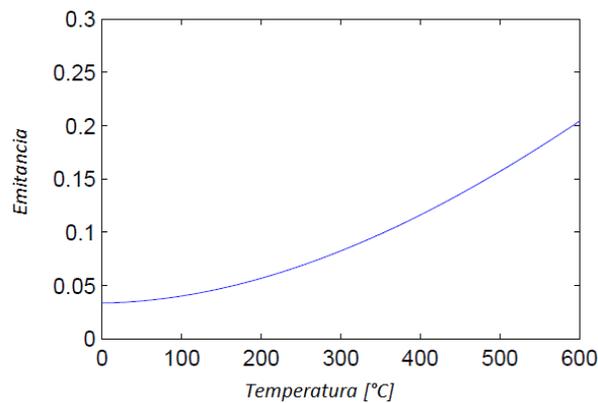


Figura 5. 29. Emisividad del Tinox acorde a la temperatura[107]

El colector desarrollado por Britec cuenta con la curva de pérdidas térmicas presentada en la Figura 5.30. Se debe observar que, la empresa mencionada, desarrolla cañerías de cobre a las cuales se les adhiere una placa de cobre, placa a la cual se le suelda una lámina de material de absorción selectiva.

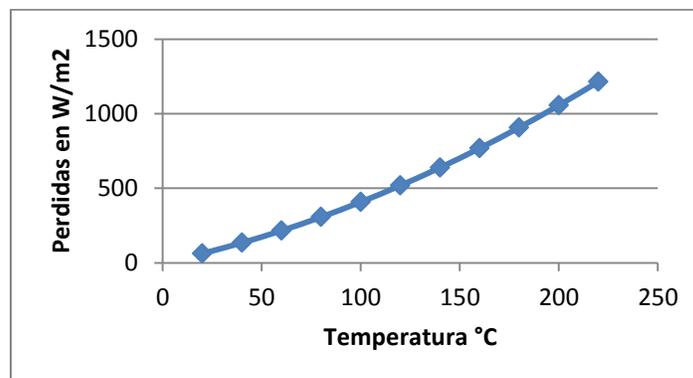


Figura 5. 30. Curva de pérdidas para el colector trabajado por Britec. [109]

Las hojas de Tinox pueden ser utilizadas para envolver al cilindro de cobre, manteniendo radios de curvatura de al menos 5 mm. Para adherir el Tinox al cobre se puede utilizar cualquiera de las siguientes técnicas:

- Soldadura láser
- Soldadura por ultra-sonido
- Soldadura plasma
- Soldadura blanda (a la flama)
- Formado
- Pegamento

La empresa Britec utiliza soldadura por ultra-sonido para unir el cobre a la película de absorción selectiva de Tinox.

Sin embargo, el Gerente de Britec comenta que curvar el Tinox no resulta tan sencillo como se presenta en las características del material. Una mejor alternativa para fabricar un tubo receptor es la de utilizar las pinturas con alto contenido de óxido de cromo comercializada por Solec, Solkote, pintura estable hasta los 550°C. La pintura se deposita en forma de rocío, por aerosol o aerógrafo. La pintura Solkote presenta las propiedades expuestas en la Tabla 5.46 y las Figuras 5.31 y 5.32.

Tabla 5. 46. Propiedades de la pintura Solkote

Propiedad	Observación
Trayectoria	Utilizado en colectores solares desde 1980
Aplicación	Aerosol manual o automático, baja inversión
Resistencia térmica	Entre -73°C y 530 °C
Resistencia ambiental	UV y humedad
Degradación	Baja
Liberación de gases atrapados	Nula, si es aplicado correctamente
Usos	Baja a alta temperatura en aplicaciones aisladas por vidrio
Envió	Premezclado y listo para aplicar
Recomendaciones	Interiores o protegido con vidrio
Matriz	100% polímero de silicio
Solvente	Xyleno
Almacenamiento en bodega	-45°C a 27°C
Rendimiento	40-90 m ² /galón, espesor 1mil húmedo.
Absorbancia	Variando entre 0,88 y 0,94, dependiendo del aseo previo a la aplicación, espesor de la capa. (Espesor húmedo de 0,02 a 0,03 mm ideal)
Emitancia	0,20 a 0,49 dependiendo del espesor de la capa.
Substratos	Aluminio, cobre, acero, ladrillos, piedras, adobe, algunos plásticos.
Precio	39,8 €/L
Precio (40 m²/galon)	3,73 €/m ²
Precio con 40m²/galon, 1 mil espesor, cilindro 70mm de diámetro.	0,82 €/m

Fuente: [109] Solec. 2011. Solkote technical specifications

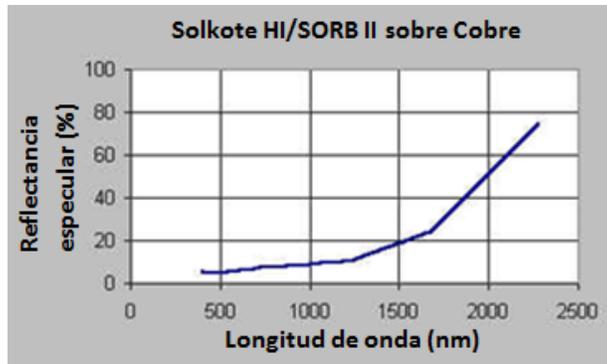


Figura 5. 31. Reflectancia película Solkote sobre cobre, para distintas longitudes de onda [110]

En la medida que aumentan el espesor de Solkote utilizado se reduce la reflectancia, aumenta la emitancia y aumenta la absorbancia. Como se observa en la Figura 5.32.

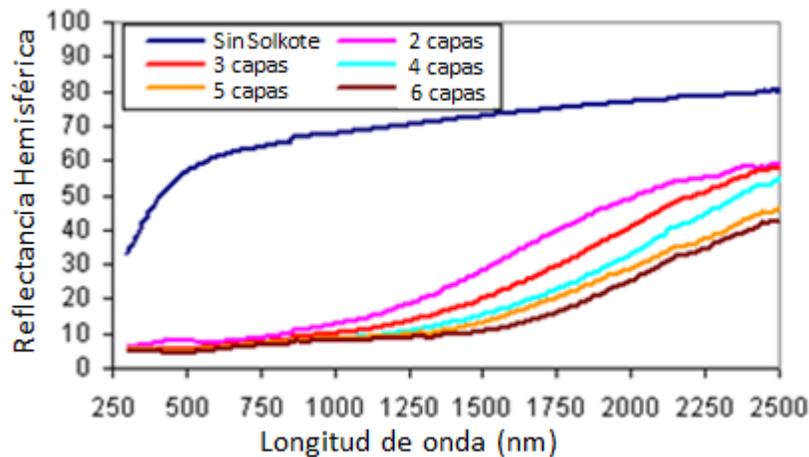


Figura 5. 32. Reflectancia hemisférica y solar para acero inoxidable (SS) recubierto con distintas capas de Solkote depositadas por inmersión. [110]

Tabla 5. 47. Detalles para la confección de la Figura 5.32.

	2 capas	3 capas	4 capas	5 capas	6 capas
Espesor	-----	800 nm	900 nm	-----	-----
Emitancia	0,2327	0,2399	0,2445	0,2528	0,2723
Absorbancia	0,8704	0,8971	0,9137	0,9163	0,9244

Fuente: [110] Solec. 2011. Solkote technical specifications.

Se ha observado que un cilindro de cobre de 28,6 mm de diámetro recubierto con Solkote para alcanzar una absorbancia de 0,88 y emitancia de 0,46, presenta las pérdidas térmicas expresadas en la Ecuación polinómica 5.10.[111]:

$$Q_{0u} = 0,0033(\Delta T_{ave})^3 - 0,1935(\Delta T_{ave})^2 + 23,2746(\Delta T_{ave}) \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad \text{Ecuación 5.10.}$$

Con ΔT_{ave} la temperatura promedio en °C.

Se destaca la facilidad que tendría Britec para desarrollar un absorbedor como el presentado en la Figura 5.33, dada la similitud con los colectores de placa plana que ya produce. El diseño presentado combina cañerías de cobre a placas de aluminio recubierto en materiales de absorción selectiva, para aprovechar la absorción del aluminio y la conductividad del cobre.

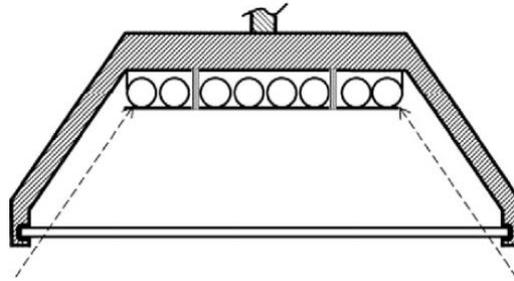


Figura 5. 33. Arreglo de cañerías receptoras paralelas y placa absorbedora. [112]

Se han observado posibles **sinergias** con solo tres industrias instaladas en la región.

- **Lámparas Chile:** Ya cuenta con una relación laboral con Almeco como principal proveedor de la empresa, relación que podría llevar a Lámparas Chile a expandir su negocio a la incorporación de material absorbedor a cilindros conductivos para calentar fluidos de trabajo. Adicionalmente, ya cuenta con sistemas para trabajar el depósito y cocción pinturas de precisión (electro estática). Dándole facilidad para confeccionar el receptor completo del equipo Fresnel.
- **EPC y Conmetal:** Empresas manufactureras de cañerías de cobre, dando valor agregado al producto de mayor exportación en la región. Podrían beneficiarse de un ciclo virtuoso con la industria CSP.
- **Cristal Chile, Cristoro, Verallia:** Respecto a una envoltura de vidrio, se encontró una fuerte sinergia con la industria embotelladora nacional. Chile es un gran exportador de vino, el cual es embotellado en vidrio. Tomando nota de esto, la gran vidriera internacional Saint-Gobain ha instalado dos fábricas para la producción de botellas en el país. La fabricación de botellas a nivel nacional consta de los siguientes pasos:
 - Incorporación de materias primas al horno:

○ 71% Arena	○ 4% adicionales
○ 14% Sosa de carbonato sódico	○ Calcín, vidrios rotos para reciclaje
○ 11% carbonato de calcio, cal	
 - Horno: Se funde la materia prima a 1.500°C, con 24 hrs de lapso entre la entrada y salida de la materia prima en el horno. Con una producción de 8.300.000 Toneladas de vidrio al año. El horno escurre vidrio fundido de forma continua y unas pinzas a la salida del horno cortan el fluido para que caiga la cantidad adecuada de vidrio en cada molde.

- Conformación: Las gotas de vidrio a unos 500°C caen en un molde, donde se les da una preforma hueca, con la embocadura final. Luego la preforma se coloca en el molde definitivo y por medio de inyección de aire a presión se le fuerza a adquirir la forma del molde.
- Recocido: Las botellas suelen recibir un baño de solución protectora en caliente, luego circulan a lo largo de un horno de recocido por un periodo de entre 30 min y 2 hrs. El enfriamiento progresivo evita fallas por shock térmico y endurece la solución caliente dando resistencia a rayados.
- Calidad: Por medio de herramientas mecánicas, videos o haz luminoso se controlan las dimensiones, espesores y apariencia de las botellas.

La industria mencionada está capacitada para producir cilindros de vidrio de forma continua y no presenta un problema tan grave como el de Vidrios Lirquén para realizar los cambios en la fórmula de la mezcla, con tan solo un periodo de 24hrs para observar cambios de características en el producto. La gran limitación que presenta es la altura máxima de sus productos, limitada a producir botellas con alturas inferiores al metro.

5.2.6. Análisis FODA y resumen de la sección referente a absorbedores

En la presente sección se ha observado la gran cantidad de materiales y cilindros absorbedores disponibles en el mercado internacional. Se ha destacado la importancia de utilizar materiales con alta absorción y baja emisividad, a modo de reducir las pérdidas energéticas. En el caso de Chile, la nación dos instituciones dedicadas a la manufactura de elementos absorbedores de radiación solar. De las dos empresas encontradas una trabaja materiales utilizados exclusivamente a baja temperatura, dejando solo una empresa para fabricar el componente requerido por el colector Fresnel. La compañía Britec trabaja el material de absorción selectiva, Tinox, pero recomienda utilizar la pintura Solkote para recubrir superficies cilíndricas. La empresa nacional también se ve limitada al no contar con técnicas para incorporar cilindros de vidrio al absorbedor, mucho menos incorporar vacío.

Pese a la baja capacidad para producir elementos de absorción selectiva y la elevada inversión asociada a incorporar tecnología para producir elementos absorbedores (estables a elevadas temperaturas) Chile cuenta con una fuerte industria dedicada a la extracción de cobre. Industria que se podría orientar a producir cilindros absorbedores, especialmente si se considera la fácil y económica incorporación de pinturas selectivas, como Solkote. Se debe considerar que los elevados costos de la energía han limitado la manufactura de materiales de cobre en el país. La producción de cilindros absorbedores, de cobre, en la región podría conllevar un ciclo virtuoso sustentable. En el ciclo mencionado, la utilización de energía renovable reduce los costos productivos, lo cual incentiva la producción de nuevos cilindros de cobre, lo cual a su vez continua reduciendo los costos de la energía.

El país cuenta con múltiples proveedores de colectores solares, de baja temperatura, producidos en el extranjero. Destaca la instalación de Rioglass en Chile, lo cual posiciona al país en una situación privilegiada. La empresa Rioglass recientemente ha adquirido las instalaciones de Siemens para fabricar cilindros absorbedores de alta temperatura, en Alemania. Así Chile se podría posicionar como distribuidor regional del componente.

A continuación se presenta el análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas para la producción de receptores solares en la Región.

Tabla 5. 48. FODA, Absorbedor, Reflector Secundario y Casing

Fortaleza	Debilidad
Existencia de institución dedicada a la manufactura de luminarias y trabajo con aluminio reflectante.	Institución de luminarias reacia a utilizar mejores aluminios para la fabricación del reflector secundario.
Institución de luminarias cuenta con equipos para fabricar reflectores de curvaturas suaves de forma CAM.	Solo producción de colectores planos.
Uno de tres países con producción de colectores solares en Sud-América.	Difícil transferencia tecnológica desde el extranjero
Contacto por medio de Britec con Solkote para el recubrimiento con óxido de cromo para la fabricación de receptores.	No se cuenta con el know-how para la producción de receptores evacuados de alta absorbancia.
Abundancia de cobre, buen conductor para la manufactura de receptores simples.	Solo capacidad para producir receptores cubiertos con pintura de óxido de cromo.
Fábrica de vidrio flotado para la confección de receptores protegidos de convección forzada por el viento.	
Posibilidad de fabricar reflectores secundarios con geometría trapezoidal, solo requiere espejos planos.	

Tabla 5. 49. FODA, Absorbedor, Reflector Secundario y Casing. Continuación Tabla 5.48.

Oportunidad	Amenaza
Instalación de Rioglass en Antofagasta, vínculo directo a los absorbedores UVAC 90.	Brasil ya cuenta con instalaciones para el ensamblaje de tubos al vacío.
Potencial para dominar el mercado latino-americano.	Absorbedores para alta temperatura requieren de tecnología de punta y costosas inversiones.
Gran producción de botellas de vidrio por medio de soplado. Posible sinergia para producir recubrimiento de vidrio.	Central Argentina de “Guardian” capaz de importar espejos para reflector secundario.
Gran demanda de calor para energía de procesos industriales.	Altos costos para investigar y desarrollar técnicas de receptores de elevada absorbancia y reducida emitancia.
	Largo tiempo de espera para determinar la calidad de los artículos producidos.

5.3. Estructura

5.3.1. Características de la Estructura

La estructura del colector corresponde a uno de los componentes más relevantes para el funcionamiento del colector. La estructura debe ser capaz de asegurar las siguientes condiciones:

- Mantener la geometría y adecuada orientación de los reflectores.
- Ofrecer resistencia estructural a la carga aportada por el viento, peso de los componentes y eventuales sismos.
- Mantener su resistencia estructural a lo largo de la vida útil de la instalación.

Los ensayos de calidad utilizados para certificar la calidad de la estructura son equivalentes a los empleados para avalar otras estructuras metálicas. Los ensayos característicos involucran estudios no destructivos como Tinturas, Ultra sonido y rayos X. Para certificar la resistencia a ataques ambientales de la estructura se suele utilizar la norma ASTM 123. En la norma mencionada se estudia el procedimiento de galvanizado y la composición química del acero, específicamente buscando concentraciones de carbono, fósforo, magnesio y silicio.

5.3.2. Materiales de la Estructura

Entre las ventajas de los colectores lineales Fresnel destaca su bajo requerimiento de acero pesado, con poco concreto necesario (facilitando la instalación del equipo). La utilización de pernos de anclaje permite al equipo ser montado con facilidad sobre techos en instalaciones previamente existentes.

Los principales materiales requeridos para la fabricación de la estructura son acero, recubrimiento para dar resistencia a ataques ambientales, y concreto, tres componentes disponibles a nivel nacional, utilizados principalmente por la industria de la construcción y minería.

5.3.3. Procesos de Manufactura

Los procesos de manufactura requeridos para la fabricación e instalación de la estructura no son distintos de los usualmente empleados en maestranzas generales. Destacan:

- Plegado de acero
- Perforaciones
- Corte por oxicorte o cierra automática
- Esmerilado.
- Soldadura al arco con varillas, MIG, TIG, Plasma

Destaca mencionar que en la medida que aumenta la competencia por el mercado, se distinguen las empresas capaces de producir colectores económicos, basado en economías de producción en masa, con diseños de fácil ensamble. El diseño de estas estructuras y procesos de manufactura dan un gran campo para la reducción de precio del sistema completo. Usualmente estas metodologías de trabajo es información sensible para la empresa. Una forma interesante de enfrentar esta situación es la utilizada por la empresa

Española Sener, empleando un mecanismo de estampado en acero para fabricar los soportes de sus colectores parabólicos.

Para asegurar que el material estructural no se deteriore en el transcurso de su vida útil este debe ser galvanizado. El procedimiento de galvanizado busca depositar material de sacrificio sobre el acero estructural. El material de sacrificio suele ser más económico que el material base utilizado. El zinc ofrece una barrera física, química y eléctrica ante el desgaste de la estructura, así evita que agentes corrosivos ataquen directamente al acero estructural y en caso de que el agente corrosivo entre en contacto con el acero, el zinc entrega sus electrones al acero evitando la degradación de la estructura. La barrera de zinc tiene la ventaja de auto-curarse en caso de rayarse la superficie.

El proceso de galvanizado requiere de las siguientes etapas:

- **Desengrase y Decapado:** Se remueve la protección grasosa y las impurezas del material base para asegurar la apropiada fijación del zinc a la estructura.
- **Enjuague:** El material es enjuagado en una piscina de solución alcalina para disolver ácidos de hierros del decapado
- **Fundente:** Se asegura la limpieza superficial del material al aplicar ácido clorhídrico, cloruro de zinc, y cloruro de amoníaco.
- **Horno de secado:** Las piezas son secadas a 70°C para reducir la humedad y evitar explosiones de zinc fundido.
- **Horno de Galvanizado:** La pieza es sumergida en zinc fundido a unos 450°C. El proceso tarda unos 2 a 3 minutos.
- **Enfriamiento:** Con agua, para mantener el brillo del producto.

5.3.4. Industria Internacional

Dados los costos de envío se suele buscar proveedores nacionales para la fabricación y suministro de los componentes estructurales, pero si han surgido compañías dedicadas al desarrollo de estructuras, considerando el diseño del colector, la supervisión en la manufactura y el desarrollo global de proyectos solares.

Tabla 5. 50. Industrias relevantes en la confección de estructuras a nivel internacional

Industrias influyentes en la confección de estructuras para sistemas CSP				
• Abengoa	• Acciona	• Albiasa	• Alcoa	• Areva
• Flagsol	• Novatec	• Grupo	• Sener	• Siemens
• Skyfuel				

Fuente: [113] Grupo del Banco mundial y ESMAP

Estas industrias están interesadas en el desarrollo de la producción industrial de componentes para la industria solar térmica [102], buscando el apoyo de proveedores locales para los materiales base y el ensamble del equipo. La competencia radica en los costos y la producción en masa. Reduciendo costos de importación y tiempos de instalación.

Con la caída en automóviles en EE.UU. hacia el año 2010, se confeccionó un equipo CSP de antena y motor Stirling que busca reutilizar los equipos ociosos de la industria

automotriz. Potenciando el trabajo a los proveedores directos y secundarios de la industria vehicular. Al confeccionar el reflector con compuestos moldeados se aprovecha la línea de fabricación de asientos y cuerpos de espejos. La fabricación del chasis vehicular puede ser ajustada para fabricar la estructura del colector. Los sistemas en control de dirección y electrónica son traslapables al rastreo, así se da gran escalabilidad a los equipos CSP diseñados. [114]

5.3.5. Industria nacional

La industria metal mecánica general se divide en términos principalmente, en seis subsectores:

- a. Metálicas básicas
- b. Productos metálicos
- c. Maquinaria no eléctrica
- d. Maquinaria eléctrica
- e. Material de transporte y carrocería
- f. Bienes de capital

Como se observa en la Figura 5.34, en América Latina el acero es utilizado mayoritariamente para la construcción, pero también hay fuertes áreas automotrices y mecánicas. Mientras que Chile presenta una utilización del metal dirigida casi exclusivamente a la construcción y minería.

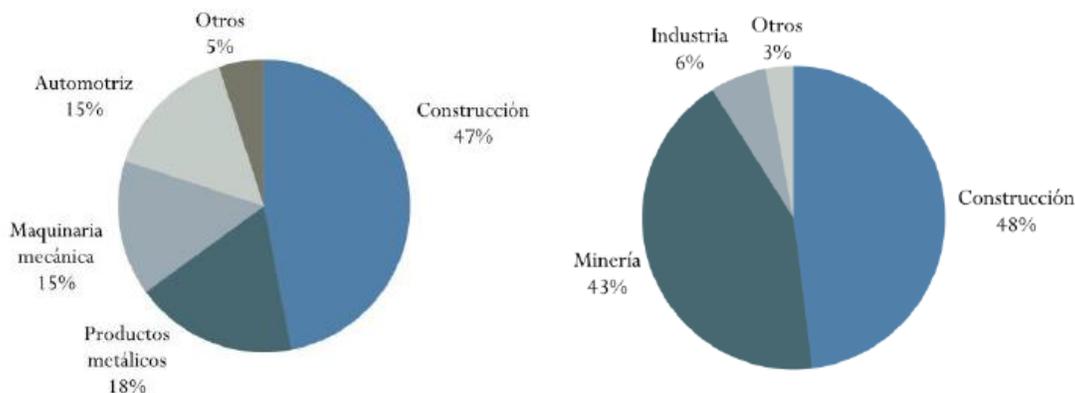


Figura 5. 34. Usos del acero en Latinoamérica [Izquierda], Usos del acero en Chile [Derecha], [115]

El desarrollo del sector metal mecánico se ve directamente ligado al comportamiento de los sectores mineros, pesqueros, energéticos, construcción, forestal y las otras áreas económicas del país. Se debe mencionar que el país cuenta con una planta siderúrgica integrada (Siderúrgica Huachipato S.A.), instalada a comienzos de la década de 1950 a 14km al noroeste de Concepción. Esta planta es capaz de producir acero laminado a partir de minerales de hierro, con una capacidad instalada a 1.450 mil toneladas de acero líquido anual. Y la empresa brasilera instalada en Chile, Gerdau AZA, que produce acero laminado a partir de chatarra, con una capacidad instalada de 520.000 Toneladas de acero líquido. Estas instalaciones no son comparables al mercado Chino, englobando hasta el 49% de la producción mundial. [115]

Para el año 2012 el PIB de la industria metal mecánica alcanzó el 2,4% del PIB nacional y un 23% del PIB de la industria manufacturera. Con exportaciones alcanzando el

5,3% del total nacional y un 11,5% de las exportaciones No-cobre. La industria entregó 175 mil empleos, 2,3% del país y 20% de la industria manufacturera local. Al comparar con países industrializados, donde la industria metalmeccánica representa el 50% de la industria manufacturera, se observa la necesidad de potenciar la industria local. Para el año 2013 se importó el 68% de la oferta metalmeccánica, con una exportación de tan solo 7% de la producción nacional. [116]

Los elevados costos de la energía, en algunos casos alcanzan hasta el 50% de los costos directos de producción. Con precios para la energía en torno a los 175 USD por Mega Watt-Hora, duplicando los costos de EE.UU., Canadá y China, limitan la competitividad nacional en hasta un 30%. [115]

Chile cuenta con una fuerte industria minera especialmente orientada a la producción de cobre y molibdeno como material secundario. El país produce en torno a 6.000 miles de toneladas Cu/año. Con la empresa nacional “Codelco” como el principal proveedor de cobre a nivel mundial (con una producción cercana a 1.800 miles de toneladas el años 2013), seguido por “Minera Escondida” con una producción de 1.200 miles de toneladas. Se menciona la “Empresa Nacional de Minería” dedicada al fomento de la pequeña y mediana minería, con sus instalaciones:

- “Fundición Hernán Videla Lira”
- Planta de Beneficio en “Taltal”
- Planta de Beneficio en “Palpote”
- Planta de Beneficio en “El Salado”
- Planta de Beneficio en “Vallenar”
- Planta de Beneficio en “Ovalle”

Junto con las instalaciones de Ventanas con capacidad para refinar 400 mil toneladas finas al año, traspasadas a Codelco en 1964 y una producción cercana a 23.000 Ton de molibdeno/año.

La industria metalmeccánica está directamente ligada al sector minero, al ser una industria transformadora de metales. Es una oportunidad de generar productos con alto valor agregado. Se relaciona directamente con los demás sectores industriales, al ser proveedor de equipos e infraestructura. Genera empleos para personal altamente calificado. Conlleva a mejorar la tecnología nacional, facilita inversiones, divisas y modernización para la economía local. Figura 5.35.

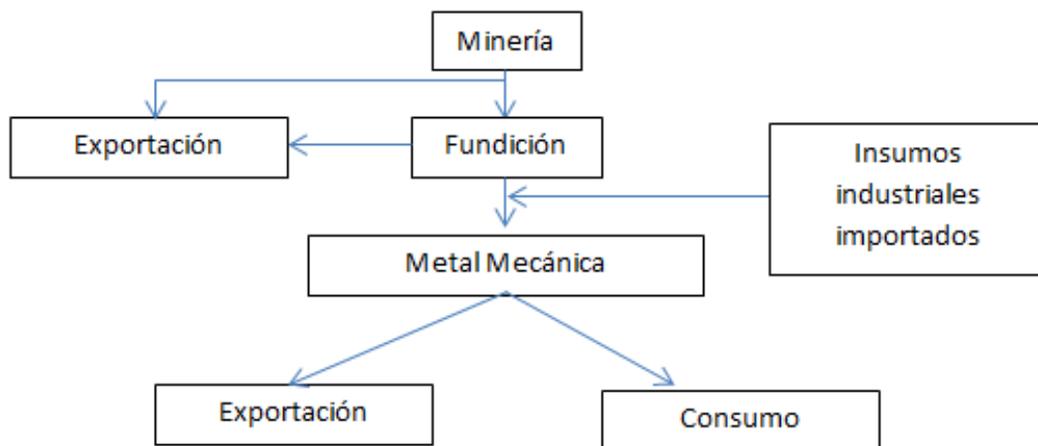


Figura 5. 35. Diagrama conceptual industria metálica

En el caso de Chile destaca mencionar que hacia finales del 2013 el país ocupó la posición 45 en la lista de mayores productores de acero en el mundo. En la Figura 5.23 se describió la variación de producción de acero en Chile. Se debe tener en cuenta que pese a estar en la lista de los mayores productores del metal, el año 2013 Chile importó hasta \$1.4 Billones de Dólares en Acero, lo que coloca al metal como el noveno producto con mayor importación en la nación.

Al observar las importaciones de materiales ferrosos durante el año 2013 se aprecia que Chile cuenta con la capacidad para trabajar productos siderúrgicos a una tasa de consumo de en torno a 263 mil toneladas por trimestre, como se describe en las importaciones descritas en las Tabla 5.51 y 5.52. El detalle presenta las importaciones de una de las principales materias primas empleadas en la confección de estructuras y equipos metálicos, incluido el soporte estructural del colector solar estudiado.

Tabla 5. 51. Importaciones de acero a Chile, los primeros 3 trimestres 2013

Material	I semestre 2013		II semestre 2013		III semestre 2013		Resumen	
	Ton	USD/Ton	Ton	USD/Ton	Ton	USD/Ton	Prom ton/trim	medio USD/Ton
Planchas de acero aleado	68.713	815	62.918	858	53.284	779	94.825	890
Barras de acero aleado	24.138	948	51.531	863	23.893	1.081		
Acero inoxidable	4.069	3.560	6.381	2.786	5.152	3.349	5.200	3.231
Tubos de acero	29.291	1.197	47.256	1.338	42.583	1.385	39.710	1.306

Tabla 5. 52. Importaciones de acero a Chile, los primeros 3 trimestres 2013. Continuación Tabla 5.51

	I semestre 2013		II semestre 2013		III semestre 2013		Resumen	
Planchas de acero sin alear laminadas en caliente	69.105	634	69.028	661	31.439	722		
Planchas de acero sin alear laminadas en frío	19.535	830	30.353	752	24.665	769	123.480	753
Barras de acero sin alear	21.767	740	38.833	717	18.484	721		
Perfiles de acero sin alear	20.599	819	13.048	820	13.584	852		
Total	257.217	1.192	319.348	1.099	213.084	1.207	263.215	1.545

Fuente: [117] Banco Central de Chile

Las compañías que trabajan el desarrollo e instalación de tecnologías CSP, buscan un fuerte apoyo por parte de proveedores nacionales. Al Realizar una búsqueda en la base de datos de SOFOFA con la palabra clave “estructuras metálicas” se destacan 144 maestranzas y proveedores de acero estructural a nivel nacional. Algunas instituciones presentan servicios como representantes para instituciones extranjeras. Sin embargo la mayoría presenta servicios orientados a trabajos en construcción, equipos mineros (como tolvas) o infraestructura (como puentes peatonales y puentes desmontables). En las Tablas 5.53 a 5.55 se presenta las características de algunas de las empresas identificadas. Al consultar los costos de generar la estructura para un colector las empresas Enercom y Decametal presentaron un consenso en que el precio de adquirir en acero trabajado se estima en 1.500 a 2.000 CLP/Kg de metal. La empresas consultadas comentan que el valor asignado depende fuertemente de la calidad del acabado superficial requerido.

Tabla 5. 53. Detalle de algunas de las maestranzas, presentes en el país, dedicadas al trabajo estructural en acero

Empresa	Servicios	Experiencia	Trato
Betolli S.A.	Ofrece Servicios, Civiles, Mecánicos, Químicos, Eléctricos e Industriales. Diseño, Cálculo estructural, Ing. De detalle, optimización de recursos energéticos. Diseño, fabricación e instalación de:		
	Recipientes a presión, intercambiadores de calor, torres y recipientes, estanques de almacenamiento, cintas transportadoras, harneros vibratorios, estructuras de acero, piezas de maestranza.		
Ricardo Sanhueza Hott	40 años atendiendo constructoras, ofreciendo: soldadura arco manual, MIG, TIG, plasma, arco sumergido, corte CNC. Pipping. Con proyecto icónicos como Estadio Bicentenario German Becker de Temuco, Supermercados Jumbo y el Aula magna de Universidad de la Frontera.		

Tabla 5. 54. Detalle de algunas de las maestranzas, presentes en el país, dedicadas al trabajo en acero.
Continuación Tabla 5.53.

Empresa	Servicios	Experiencia	Trato
Girders Chile	Más de 23 años de experiencia especializada en trabajos en acero para la construcción, obras viales, minería, centrales hidro-eléctricas en Chile y Sudamérica. Ofrece servicios de ingeniería, Técnicos, y Proyectistas. Torno CNC, mecanizado CNC, Cilindradora CNC, Punzadora CNC. Con una producción mensual de 120.000 Kg acero trabajado. Produciendo: grúas, hornos rotatorios, celdas de flotación, clarificadores, calderería pesada, estanques de almacenamiento y presurizados, todo tipo de fabricación estructuras metálicas. Con sus proyectos emblemáticos: Ampliación de planta Hidro-tratamiento diésel ENAP. Viga pescadora compuertas central hidroeléctrica. Súper-estructura para espesador. Compuertas de inmersión interconexión la farfana-trebal.		
Bacigalupo	Fundada en 1942, en Valparaíso con constante reinversión y adquisición de nuevos equipos. Ofrece servicios de tornos, fresado, rectificado, inspección y reparación de componentes mecánicos. Produce entre otros: Estructura metálica general, estanques de almacenamientos, álabes, carros de transporte, crisoles, harneros para minería, ejes de bombas y reductores, descansos, sinfines, engranajes. Destacando sus clientes en los rubros mineros, tabaqueras, navieras, conserveras, industrias genéricas. Repuestos vehículos.		
Titan	Fundada en 1956 para atender diseñadores, arquitectos e ingenieros latino americanos. Ofrece servicios de diseño, manufactura, asistido por computadora. Destacando sus equipos de corte láser para acero inoxidable, aluminio, cobre, kevlar, titanio). Destacan sus proyectos: -Carrocería aluminio extra-liviana -Carrocería tanque blindado. -Quioscos, paraderos de transporte público, stands publicitarios. -Estructuras para elementos arquitectónicos.		
Maestranza Belga	Ofrece servicios y productos referentes a: Planchas, perfiles, cilindrado, oxicorte, corte y plegado, alisado, estampado, matricería obras civiles, proyectos y asesoría técnica. Con sus principales líneas de producción orientadas a: -Estructura en acero standard, Vigas para puentes, Ductos, Estanques, Cintas transportadoras, Carros de arrastre. Atendiendo principalmente a constructoras, mineras, montajes industriales e instalaciones agrónomas.		
Construcción Metálica San Bernardo	Fundada en 1969 trabaja galpones, maestranzas, pórticos y señalización vial. Desde 1985 investiga, y desarrolla desde la idea hasta el producto final en temas de pasarelas y puentes reutilizables. Ofreciendo un trato directo con clientes Solicitando: Ubicación geográfica, emplazamiento, tránsito croquis de medidas y fotografías del sector.		
Estructuras América	Más de 40 años fabricación e instalación de estructuras y carpintería. Soldadura Arco, MIG, Oxicorte, produciendo galpones, altillos, frontones, marquesinas, escaleras, rejas y barandas.		

Tabla 5. 55. Detalle de algunas de las maestranzas, presentes en el país, dedicadas al trabajo en acero.
Continuación Tabla 5.54.

Empresa	Servicios	Experiencia	Trato
Esmetal metalúrgica Ltda.	Desde 1989, atiende los requerimientos de la agroindustria, naves industriales, e infraestructura comerciales. Ofreciendo servicios de cálculos estructurales, dibujo técnico, planos arquitectónicos, obras civiles, fabricación de vigas, estructuras, portones, entre otros productos galvanizados y pintado airless. Montajes. Entre sus clientes y proyectos se observan: Centros de bodegaje, centro de distribución CCU, Supermercados, cubierta de Silos, Pasarela peatonal Colún.		
Finex	Confección y comercialización de edificaciones modulares por medio de paneles utilizando acero para producir: Casetas de vigilancia y control, contenedores, contenedores habitables, contenedores especiales como salas para de enseñanza, laboratorios, Defensa, estaciones de control		
Mettal	Desde 1979 dedicada al revestimiento y montaje de estructuras metálicas. Cuenta con equipos de corte manual, mecánico y CNC, junto con soldaduras mecánicas y automáticas. Destacan sus proyectos: Estructura para correas en minera, puentes espesadores y ampliación industrial		
Herrerros	Desde 1977 diseña e instala torres auto-soportadas, enfocándose en proyecto comunicaciones, radiodifusión, y transmisión eléctrica. Destacando sus proyectos: Construcción de campanario, antenas de radio, antenas transmisoras de televisión, mono-postes para generadores eólicos. “Asta y bandera monumental frente a la casa de moneda”.		
Romer	Creada en 1989 en Temuco para atender la fabricación y montaje de estructuras metálicas para constructoras y el gobierno. Ofrece servicios corte y cilindrado de planchas. Mecanizado de partes y piezas en todo tipo de aceros y plásticos. También diseña, fabrica y monta estructuras y maquinaria industrial como guillotinas hidráulicas, chancadoras, estanques, tolvas, silos, sifones, y engranajes		

En relación a los tiempos necesarios para instalar estructuras, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) ha determinado que la velocidad de instalación para estructuras metálicas, en Chile, está sujeta a un rendimiento asociado a las horas trabajadas. En la Tabla 5.56 se expone la estimación de eficiencia para instalar estructuras estimada por la CDT.

Tabla 5. 56. Rendimiento en la instalación de estructuras metálicas.

Empresa	Tareas	Rendimiento
Instaladora	Solo instala, externaliza la confección previa	34,7 Kg/HH
Instaladora	Instala, dobla y corta la estructura previamente.	31,7 Kg/HH

Fuente: [118] CDT, CCHC y Asesorías CALIBRE

En la Tabla 5.57 se exponen unas cuantas empresas (experimentadas en el montaje de las instalaciones solares CSP) con presencia en el terreno nacional de forma directa o por medio de representantes.2.

Tabla 5. 57. Principales industrias dedicadas a la instalación de proyectos solares a nivel mundial y su asociación con Chile.

Empresa	Proyectos solares	
Abengoa Solar	- Plataforma solar de Almeria, Torre solar. - Instituto Weizmann, Torre solar. - Theseus, CCP - Eurotrough, CCP - DISS, Vapor en CCP - Plataforma Solúcar la mayor, 300MW - Solnova 1, 3, 4. 50MW/Cu - ShamsI	- Plataforma Solar Extremadura, 60MW - Solana, 280 MW, 6 hrs almacenado - Ecija, CPT, 50 MW - El Carpio, CPT, 50 MW - Extremadura, CPT, 50 MW - Castilla-La Mancha, 50 MW - Minera el Tesoro, CPT, 10 MW
Flagsol	- Representado en Chile por PHB Chile Ltda. - Andasol 1, CPT, 50 MW - Egypt Kuraymat, CPT, 150 MW	- Andasol 2, CPT, 50 MW - Andasol 3, CPT, 50 MW
Novatec Solar	- Representado en Chile por medio de Stetter - Ecoenergía. - Puerto Errado 1, LFC, 1,4MW	- Liddell, LFC, 9 MW - Puerto Errado 2, LFC, 30MW
Areva solar	- En vías de cerrar sus negocios solares - Kimberlina, CLFC, 5MW - Kogan Creek, CLFC, 44-MW	- Rajasthan 1, LFC, 100 MW - Rajasthan 2, LFC, 100 MW
Aiguasol	Aira Termosolar, desarrollo de CLF.	
Bechtel	Ivanpah, Torre Central, 392MW	Solar Two, Torre Central. 10 MW

Para asegurar la resistencia de la estructura durante el periodo que se haya estimado el proyecto se suele utilizar acero galvanizado. En el caso de Chile, la producción y consumo nacional de acero galvanizado resulta ser una de las mayores en Latinoamérica, siendo superado solo por Brasil y México (como se observa en las Tablas 5.58 y 5.59) De lo cual se desprende la capacidad para galvanizar la estructura del equipo CSP, y certificar su resistentes a los ambientes agresivos los como desiertos. Sin embargo no se encontraron procesos de galvanizado continuo en el país, solo galvanizado por inmersión. La carencia de Chile da a países que si cuentan con la tecnología de producción continua, como Brasil, una ventaja competitiva por producir más acero galvanizado y de forma más económica.

Tabla 5. 58. Producción acero galvanizado en Latino América.

País	Plantas	Capacidad Instalada	Producción promedio 2012-2013 TM	%Capacidad Utilizada TM/año	Consumo Kgs/Habit.
Argentina	8	80.000	40.000	50%	1
América Central	8	80.000	50.000	62.5%	1
Brasil	80	675.000	350.000	51.85%	1.8
Chile	12	200.000	120.000	60%	7.2
Colombia	14	180.000	90.000	50%	1,90
Ecuador	5	120.000	60.000	50%	3,75

Tabla 5. 59. Producción acero galvanizado en Latinoamérica. Continuación Tabla 5.58

País	Plantas	Capacidad Instalada	Producción promedio 2012-2013 TM	%Capacidad Utilizada TM/año	Consumo Kgs/Habit.
México	20	380.000	190.000	50%	1,60
Perú	6	80.000	40.000	50%	1,30
Venezuela	8	130.000	40.000	30.77%	1,40
Total	170	1.925.000	980.000	51%	1,65

Fuente: [119] David Vela. 2013

El año 2011, Asimet ampara la formación del “Círculo Galvanizadores de Chile” (CGCH), integrado por las principales empresas galvanizadoras y comerciantes de acero Galvanizado en el país, Tabla 5.60.

Tabla 5. 60. Compañías del grupo Círculo de Galvanizadores Chile

Empresa	Comentario
Bbosch	Una de las mayores compañías galvanizadoras de Latinoamérica. Cuenta con 5 plantas galvanizadoras en Chile y una en Brasil, con capacidades de galvanizar: <ul style="list-style-type: none"> • 6 ton/hr, crisol: 7 x 1,25 x 2 m. Santiago, Chile. • 0,9ton/hr, crisol: 4 x 0,9 x 1,7 m. Santiago, Chile. • 9 ton/hr, crisol: 12 x 1,25 x 2,75 m. Coronel-Concepción, Chile. • 12 ton/hr, crisol: 11 x 1,25 x 2,75 m. Puerto Varas, Chile. • 15 ton/hr, crisol: 13 x 1,4 x 3 m. Santiago, Chile. • 10 ton/hr, crisol: 13 x 1,8 x 3 m. Jundiaí, Brasil. Dirige el conjunto, con el presidente asignado Sr. Luis Gallegos.
QDC	Representante de la empresa italiana Soprin, y principal proveedor para la industria de galvanizado en la región. Sub-dirigente del conjunto (CGCH), con el vicepresidente del grupo el Sr. Rodrigo del Campo.
Abasolo Vallejo	Fábrica de ferretería galvanizada para energía y telecomunicaciones, elementos de sujeción y material para vías férreas. (Chillan)
GYMSA	Empresa galvanizadora en caliente, para tuberías, cañerías, cercos, entre otros. El año 2006 abrió una nueva planta galvanizadora la cual incluye un horno de 9.5 x 1,10 x 2,55 metros, capaz de galvanizar hasta 2.300 Ton/Mes. (San Bernardo).
Zetaene	Galvanizador en caliente, con un crisol de 1,2 x 2,5 x 7,0 metros.
Mygsa	Galvanizado en caliente, crisol de 8,0 x 1,20 x 1,20 metros. Con capacidad para galvanizar hasta 500 Ton/mes.
Cintac	Proveedor de vigas, cañerías y perfiles galvanizados.
Galvanizadora Vial Sur	Galvanizado en caliente, capacidad de galvanizar hasta 100 ton/mes. San Bernardo, Chile.

Pese a contar con una de las mayores capacidades de Galvanizado en Latino América, las instalaciones encontradas en Chile se ven limitadas a galvanizar por lotes, mientras Brasil cuenta con instalaciones para galvanizar de forma continua. “Latiza” explica que la técnica de galvanizado por lotes permite cualquier geometría que quepa en el crisol de zinc y sea capaz de mantener su geometría al exponerse a 460°C. Por otro lado el galvanizado continuo es orientado a trabajar acero laminado hasta unos 2 mm de espesor. Si se prefiere trabajar láminas de acero previamente galvanizado Brasil presenta mayor capacidad productiva que Chile.

El grupo “CGCH” ha generado un mapa de Chile donde se describen las condiciones corrosivas del país acorde a la geografía y clima del lugar, Anexo B.1. Dependiendo del ambiente en el cual se instale la estructura, se puede estimar que tan rápido se degradara el recubrimiento de Zinc. El Anexo B, presenta velocidades de corrosión en función del ambiente. Independiente de la ubicación donde se vaya a emplear la estructura considerada, la norma ASTM 123 presenta espesores mínimos de zinc a depositar en función del componente a recubrir.

Tabla 5. 61. Espesores mínimos de recubrimiento galvanizado de acuerdo a la Norma ASTM 123

Espesores promedios mínimos de galvanizado según material (micrómetros)					
Espesor del material	<1,6	1,6 a 3,2	3,2 a 4,8	4,8 a 6,4	>6,4
Estructuras y planchas	45	65	75	85	100
Flejes y barras	45	65	75	85	100
Cañerías y tubos	45	45	75	75	75
Cable	35	50	60	65	80

Fuente: [120] B. Bosch.

5.3.6. Análisis FODA y resumen de la sección relacionada a la estructura del colector

Se ha observado como los planes de desarrollo país y las empresas de ingeniería dedicadas a instalar plantas CSP prefieren la utilización de materiales autóctonos, excepto cuando se busca la rápida instalación de la central. La incorporación de la industria nacional permite reducir costos e impuestos de envío y facilita la incorporación de proveedores nacionales para suplir las necesidad del mantenimiento de las plantas. También se mencionó como algunas industrias con equipos para realizar trabajo veloz y preciso en acero, como la automotriz, ven en la tecnología CSP un nuevo mercado a trabajar.

En el caso de Chile la industria se ve especialmente dividida entre el mercado de construcción y maestranzas enfocadas en servir equipos mineros. No se han observado grandes instalaciones con trabajos en serie de acero. Sin embargo el gran número de maestranzas permite cubrir la potencial demanda de equipos, en caso de ser requerida. Destaca la fuerte amenaza que representan industrias extranjeras experimentadas en tecnología CSP y la industria automotriz instalada en Brasil.

Chile también destaca por su elevada capacidad para galvanizar estructuras de acero. Sin embargo debe notarse la necesidad de diseñar la estructura a modo de que no se deforme durante el galvanizado. La industria brasilera ofrece bobinas de acero galvanizado de forma continua, laminas más económicas pero que no garantizan durabilidad en las zonas donde se corte y suelde el material.

A continuación se presenta el análisis de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas para la confección de estructuras para el colector Fresnel en el territorio nacional, Tabla 5.62.

Tabla 5. 62. FODA para la producción de estructuras en el territorio nacional

Fortalezas	Debilidades
Gran capacidad galvanizadora.	Gran número de equipos manuales, poca automatización.
Gran cantidad de maestranzas capacitadas para la manufactura.	Productos deben ser probados en condiciones de operación
Desaceleración en instalaciones industriales e inmobiliarias de estructuras metálicas dan lugar a capacidad ociosa en espera de contratos.	Ganancias y competitividad sujetas al mercado internacional del acero.
Experiencia de montajes en ambientes desérticos.	
Fuerte industria cementera, para la instalación de lozas y cimientos.	
Oportunidades	Amenazas
Potencial para exportar las estructuras desarrolladas.	Ingreso de múltiples instituciones al mercado.
Potencial de optimizar diseños, reducir costos y mantener las ganancias.	Contracción en el mercado vehicular brasilero podría llevar al desarrollo de producción en masa de estructuras para colectores solares.
Presencia de importantes empresas con experiencia en montajes industriales, considerando tecnología solar.	Alcanzando mayor eficiencia técnica/económica que productos nacionales

6. Componentes del sistema Fresnel

6.1. Fluido Térmico

6.1.1. Caracterización del fluido térmico

Para calentar el fluido que se desea trabajar se puede utilizar uno de dos caminos. Una alternativa es la de calentar directamente el fluido final o de proceso. Por otro lado, se puede calentar un fluido intermediario o HTF (por sus siglas en inglés, Heat Transfer Fluid), utilizando intercambiadores de calor para transferir la energía al fluido definitivo.

El sistema en el cual se calienta directamente el fluido de proceso presenta la ventaja de poder alcanzar mayores temperaturas, que en el segundo caso, utilizando la misma superficie. Esto se debe a que se evitan las pérdidas inherentes a la necesidad de utilizar intercambiadores de calor. Se debe considerar que los intercambiadores de calor no solo

inducen pérdidas de eficiencia al ciclo, pero que también tienen un costo monetario por equipo. Aun así, en algunos casos es preferible utilizar un HTF, como es el caso cuando:

- El fluido de procesos podría hervir, requiriendo cálculos más intensivos e inversiones mayores en la cañería del colector.
- La viscosidad del fluido de procesos podría elevar los costos de bombeo.
- La utilización de HTF permite un mejor uso de intercambiadores térmicos al usar almacenamiento térmico, como el que ofrecen las sales solares.

El mercado ofrece una amplia gama de fluidos térmicos, al seleccionar alguno se debe tener presente los siguientes criterios:

- Rango de temperatura de trabajo: Los HTF se degradan a temperaturas demasiado elevadas y también pueden congelarse o cristalizarse a temperaturas demasiado bajas, limitando la selección del fluido.
- Densidad de potencia térmica: No solo el rango de temperatura es relevante, se debe tener cuidado con la potencia térmica que cruza por unidad de superficie del fluido. Densidades muy elevadas pueden carbonizar, descomponer químicamente o quemar los constituyentes del fluido térmico.
- Coeficiente de expansión: Al cambiar la temperatura de los materiales, también varía su densidad. La expansión del fluido podría limitar la vida útil del equipo.
- Viscosidad: La resistencia del HTF a fluir, eleva los costos de bombeo.
- Capacidad térmica: La capacidad del fluido de retener calor.
- Formato de utilización: Algunos fluidos térmicos presentan requisitos para su operación, como por ejemplo ser utilizado en forma de vapor, limitando la funcionalidad del fluido.
- Degradación con el uso: Los HTF se degradan no solo con temperaturas elevadas, pero también con el uso intensivo.
- Costo de inversión y operación: Como siempre es importante considerar los costos de cada componente, no solo los de adquisición, pero también es importante considerar los costos de bombeo de cada fluido y su necesidad de reposición.

6.1.2. Materiales utilizados como Fluidos de Transferencia Térmica.

Los fluidos térmicos en el mercado pueden ser catalogados en uno de los siguientes tres grupos [121]:

- **Soluciones acuosas o agua:** El agua es un material económico y no-tóxico, con alta capacidad calórica y baja viscosidad, lo que la hace un fluido térmico muy atractivo. Se debe notar que el agua puede resultar corrosiva en función de su pH. También se debe considerar el caso de aguas pesadas, capaces de depositar grandes cantidades de material en el contorno de las cañerías a utilizar. Para ampliar el rango de utilización del agua, es posible utilizar agua a presión o incluir aditivos al agua, para producir soluciones acuosas, a modo de controlar las limitantes del fluido. Mezclas 50/50 o 60/40 de glicol en agua, son utilizadas para dar protección anti-congelación. Estos materiales se degradan y suelen requerir reemplazo cada 3 a 5 años.

- **Aceites térmicos:** Fluidos más viscosos que el agua, con menor capacidad calorífica, pero presentan la ventaja de tener un mayor rango térmico de operación, y ser relativamente económicos.
Los aceites térmicos se pueden subdividir en aceites de hidrocarburos sintéticos, hidrocarburos parafínicos y aceites minerales aromáticos refinados. Los aceites térmicos son relativamente no-tóxicos y de bajo mantenimiento. Hidrocarburos parafínicos presentan un mayor rango térmico de operación, sin embargo son tóxicos y requieren utilizar lazos cerrados con doble encapsulación. Los aceites aromáticos resultan ser los menos viscosos de los aceites hidrocarbonados.
- **Sales fundidas:** Usualmente utilizadas como medio de almacenamiento térmico, alcanza a temperaturas de hasta 550°C, incluso un mayor límite térmico que el aceite térmico limitado a 400°C. La utilización directa de las sales como fluido térmico permite remover los intercambiadores de calor, y sus pérdidas, necesarios al utilizar el almacenamiento térmico en sales fundidas.
Eleva la temperatura asociado a la utilización de tecnología CSP permite reducir el volumen requerido para el almacenamiento térmico hasta un rango de 2/3 del total, lo cual lleva a un descuento de hasta 30% de los costos de almacenamiento. Este material llega a representar hasta el 20% de los costos de la planta.

6.1.3. Procesos de manufactura

Los procesos de manufactura para los distintos fluidos térmicos dependen del material que será utilizado.

- **Las soluciones acuosas:** Pueden ser preparadas como mezcla de las apropiadas proporciones de los componentes de la solución, en ocasiones requiriendo calentar y/o agitar la solución para facilitar la disolución.
- **Aceites Minerales:** Preparar estos fluidos se sigue un procedimiento en tres fases:
 - **Aceite base:** Los aceites base dan la calidad del producto y afectan fuertemente a la viscosidad final, en orden creciente de calidad los aceites base son:
 1. Aceites base reciclados
 2. Solventes refinados vírgenes del grupo 1
 3. Solventes hydro-craqueados de grupo 2
 4. Solventes hydro-craqueados de grupo 3

Los solventes del grupo 4 es utilizado en ocasiones particulares, dado que son más costosos que otros aceites base.

Los aceites base son comercializados con diversas viscosidades, es posible mezclar distintas proporciones de aceites base para alcanzar la viscosidad deseada.

- **Aditivos:** Se incorporan aditivos al aceite para darle características aceptables u óptimas para desarrollar los distintos trabajos requeridos por el fluido. Así es posible incorporar los siguientes materiales:

- Viscosity Index Improver (VII): Mantiene la viscosidad del fluido frente a diferentes temperaturas.
 - Viscosity Modifier (VM): Modifica la viscosidad del fluido térmico
 - Pour Point Depressant (PPD): aumenta el rango operativo del fluido, reduciendo la temperatura de cristalización.
- **Procedimientos de mezcla:** La mezcla se puede lograr por uno de dos caminos:
- Mezclar en caliente, logra mayor cohesión en los componentes de la mezcla.
 - Mezcla en frío, podría presentar desprendimiento de los aditivos después de pasar tiempo en estancamiento.

6.1.4. Industria Internacional

Las industrias productoras de fluidos térmicos están ligadas a la industria petroquímica, así a nivel internacional destacan las industrias presentes en la Tabla 6.1.

Tabla 6. 1. Principales proveedores de fluidos térmicos en el mercado internacional

Industria	Productos	Instalaciones
Coastal Chemical Co.	Hitec, Hitec Solar Salt, Chemtherm, Thermalane, FluidGuard	EE.UU: Texas, New Mexico, Louisiana, Mississippi, Colorado, Kansas, Oklahoma, Wyoming.
EXXON	Caloria HT43 Mobiltherm	Canadá, Caribe/Guatemala, México, EE.UU., Argentina, Brasil, Colombia, Europa general, Medio oriente/Norte de África, África sub Sahara, Asia del Pacífico.
DOW	Dowtherm	Argentina, Brasil, Canadá, Chile, México, Perú, EE.UU. Europa, Medio Oriente, África, Asia del Pacífico.
Solutia, adquirido por Eastman	Therminol	Bélgica, Brasil, China, Francia, Alemania, Japón, Malasia, México, Reino Unido, EE.UU.
BASF	Nitrato de Sodio	Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Jamaica, México, Nicaragua, EE.UU. Europa, África y Medio Oriente, Asia del Pacífico.

En la Tabla 6.2, se presenta las principales propiedades de algunos fluidos de transferencia y sus principales características. Donde destaca el elevado punto de fusión solicitado por las sales solares. Pese a que las sales solares son un fluido térmico de alto potencial por su capacidad calórica y relativamente bajo costo, se ven limitadas a poder operar tan solo en procesos a alta temperatura.

Tabla 6. 2. Propiedades de algunos fluidos de transferencia

Propiedad	Solar Salt	Hitec	HitecXL	Therminol VP-1	Therminol 75	Shyltherm 800
Composición %	Sal	Sal	Sal	Diphenyl biphenyl oxide	Aceite	Silicona
NaNO₃	60	7	7			
KNO₃	40	53	45			
NaNO₂		40				
Ca(NO₃)₂			48			
Punto de congelación, °C	220	142	120	13	80	-40
Temperatura máxima, °C	600	535	500	400	385	400
Densidad a 300°C, Kg/m³	1.899	1.640	1.992	815		
Viscosidad a 300°C, N/m²s	3,26*10 ⁻³	3,16*10 ⁻³	6,37*10 ⁻³	0,2*10 ⁻³		
Calor específico a 300°C, J/KgK	1.495	1.560	1.447	2.319		
Precio €/Kg	0.8				2	10

Fuente: [122] Eduardo Andrés Chandía Abuín , [123] Daniel Serrano García

6.1.5. Industria Nacional

Se consultó con la empresa Enercom, dedicada a procesos térmicos, combustión y secado, lo que la hace un importante demandante de fluidos de transferencia térmica. El gerente de ingeniería de la institución comentó que el único proveedor local de HTF corresponde a Empresas Copec, con los productos Mobiltherm. Por lo demás los fluidos son importados, tanto para Enercom como por las demás empresas del rubro.

Los fluidos térmicos Mobiltherm 605 y 603 son aceites minerales de alto rendimiento para sistemas de transferencia de calor indirecta a lazo cerrado. Están compuestos por materiales base altamente refinados para resistir cracking térmico y oxidación química. Dada su baja viscosidad son bombeables para el rango térmico que va desde la puesta en marcha hasta las temperaturas de operación de las instalaciones en las que se emplea, con rangos térmicos de trabajo en función de cómo se utiliza el HTF:

- -7 a 285°C en sistemas cerrados y -7 a 150°C en sistemas abiertos, Mobiltherm 603.
- -7 a 315°C en sistema cerrado y -7 a 180°C en sistemas abiertos, Mobiltherm 605.

Ambos aceites son utilizados para calefacción y refrigeración indirecta en todo tipo de procesos industriales. Destacando en aplicaciones para industrias:

- | | | |
|-----------------|---------------|--------------|
| - Aceiteras | - Láctea | - Petroleras |
| - Embarcaciones | - Metalúrgica | - Química |
| - Frigoríficos | - Papelera | - Textil |

Producidos en las instalaciones de Quinteros en la V región, los productos Mobiltherm son comercializados por Industrias Copec. Las principales propiedades de estos fluidos son expuestas en el Anexo C, donde se observa que los fluidos cuentan con una mayor viscosidad, menor densidad y mayor conductividad térmica que otros fluidos utilizados. Pero cuentan con capacidad térmica, densidad de potencia y rango de operación térmica equivalente que los otros fluidos utilizados en instalaciones CSP. Destacan por su menor costo de adquisición.

6.2. Medios de almacenamiento térmico y estanques

6.2.1. Características de los medios de almacenamiento térmico y estanques.

Para asegurar flujos constantes de energía se cuenta con tres alternativas de trabajo. En primera instancia es posible combinar el ciclo con algún combustible fósil, trabajando parcialmente con energía solar. También está el almacenamiento térmico y el almacenamiento químico. Actualmente las plantas de CSP, utilizando cilindros parabólicos, investigan el almacenamiento térmico (SAT).

Dado que se cuenta con solo ciertas horas de radiación superior a la de diseño, y noches cuya extensión depende la latitud y periodo del año a considerar, puede ser importante tomar en cuenta un sistema que permita al sistema operar de forma regular incluso a radiaciones menores de la de diseño. Usualmente se utilizan modelos matemáticos para determinar la radiación incidente en alguna región acorde a su posición, fecha y hora del día. Pero no es posible determinar con certeza las condiciones climáticas, como nubosidad o niebla, agregando incertidumbre al cálculo de la central. Entre los beneficios de los sistemas de almacenamiento destaca:

- Permitir asegurar la constancia respecto a temperaturas de operación para los procesos a realizar, debido a la reducción en la dependencia a situaciones climáticas.
- Puede haber variaciones en el flujo de trabajo, aceleración o desaceleración en la utilización del fluido de trabajo. El almacenamiento térmico permite aprovechar dichas fluctuaciones para almacenar calor durante tiempos detenidos, y entregar mayor calor en tiempos de necesidad.
- Muchos equipos podrían presentar fallas al operar con flujos muy variables de energía, los sistemas de almacenamiento térmico permiten reducir dichos riesgos.
- Amortiguar los efectos de climas transientes frente a la operación del colector.
- Aumentar la capacidad anual de la instalación.
- Entregar una distribución estable de energía.
- Aumentar la eficiencia de las instalaciones.

Los sistemas de almacenamiento pueden ser clasificados según el medio de almacenamiento o de acuerdo a su concepto de almacenamiento, si es pasivo o activo:

- **Almacenamiento Activo:** Se caracterizan por utilizar convección forzada para transferir calor al material de almacenamiento. Estos sistemas utilizan intercambiadores de calor para calentar el material y almacenarlo en uno o dos

tanques. En sistemas activos directos, el fluido de transferencia también es utilizado como fluido de almacenamiento. Mientras que en sistemas activos indirectos, se utiliza otro material como medio de almacenamiento.

- **Almacenamiento Pasivo:** En esta circunstancia el fluido de transferencia térmica, (HTF) pasa por el sistema de almacenamiento, cargando o descargando el material sólido, del cual está compuesto el SAT. El medio de almacenamiento no circula, solo intercambia calor con el fluido que pasa cerca de él. La Figura 6.1, esquematiza distintos sistemas de almacenamiento.

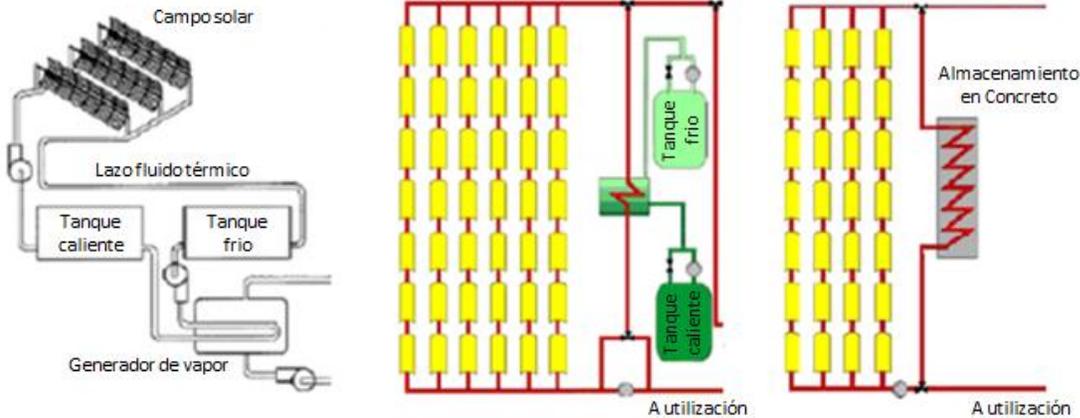


Figura 6. 1. Presentación (izquierda) circuito almacenamiento directo en tanque. (Medio) Almacenamiento indirecto con tanque frío y caliente. (Derecha) Almacenamiento pasivo con concreto. [124]

Para comparar sistemas de almacenamiento se han empleado las Tablas 6.3 y 6.4. Tablas en las que se presentan las principales ventajas y desventajas para sistemas de almacenamiento activo y pasivo.

Tabla 6. 3. Comparación entre sistemas de almacenamiento térmicos Activos (SAT)

		Ventaja	Desventaja
Directo	Dos tanques	<ul style="list-style-type: none"> *Fluidos caliente y frío almacenados en ambientes distintos. *Bajo riesgo. *Eleva temperatura de salida hasta 450°/500°C. *Aumentos en la temperatura del HTF, reduce el tamaño del sistema de almacenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> *Elevados costos de material. *Alto costo en intercambiadores de calor. *Baja diferencia de temperatura entre material caliente y frío. *Alto riesgo a la solidificación en fluidos de almacenamiento. *Las altas temperaturas de los tanques deriva en pérdidas.
Indirecto	Dos tanques	<ul style="list-style-type: none"> *Fluidos caliente y frío almacenados en ambientes distintos. *Bajo riesgo. *Aumentos en la temperatura del HTF, reduce el tamaño del sistema de almacenamiento. *Bajo riesgo de solidificación. 	<ul style="list-style-type: none"> *Elevados costos de materiales e intercambiadores de calor. *Poca diferencia de temperatura entre fluido caliente y frío. *Menor eficiencia ante el sistema de dos tanques directos.

Fuente: [124] A. Gil “et al”.

Tabla 6. 4. Comparación entre sistemas de almacenamiento térmicos Pasivos (SAT)

Almacenamiento	Ventaja
Concreto/Cerámicas *Bajo costo del medio de almacenamiento. *Elevada relación de transferencia térmica, buen contacto entre concreto y cañerías. *Materiales fáciles de manejar. *Baja degradación de la transferencia térmica entre el intercambiador y el medio de almacenamiento.	*Aumento en costos de intercambiadores e ingeniería. *Inestabilidad a largo plazo.
Un Tanque *Disminución de costos al utilizar solo un tanque. *Bajo costo de materiales de relleno (piedras y arena). *35% más barata que dos tanques.	*Riesgo de solidificación. *Difícil separación de fluido caliente y frío HTF. *Elevadas pérdidas térmicas debido a la temperatura de salida. *Difícil diseño. *Planta ineficiente. *Elevados riesgos.

Fuente: [124]A. Gil “et al”.

El sistema de almacenamiento térmico por medio de dos estanques se basa en traspasar un fluido que almacena calor entre un tanque y otro, extrayendo o entregando energía al fluido de trabajo. Así se debe considerar que el volumen fluido de almacenamiento requerido (FAT) debe cumplir las necesidades de almacenar el calor y alcanzar niveles apropiados para el correcto funcionamiento de las bombas a utilizar. Ecuación 6.1.

$$FAT_{total} = FAT_{intercambio} + FAT_{bombas} \quad \text{Ecuación 6.1.}$$

La cantidad de fluido a ser intercambiado depende de la energía a almacenar, las temperaturas de operación de los tanques y las propiedades del fluido a utilizar, como indica la Ecuación 6.2.

$$FAT_{intercambio} = \frac{Q_{sat}}{C_p(T_{caliente} - T_{fria})} \quad \text{Ecuación 6.2.}$$

Se evalúa C_p en el promedio de las temperaturas.

Se sabe que los tanques de almacenamiento presentan la menor relación Área/Volumen, cuando el diámetro equivale al alto del estanque. Así se busca el volumen capaz de almacenar el fluido a intercambiar calor y capaz de hacer funcionar las bombas. Se debe asegurar una altura mínima en el estanque, para lo cual se resuelve el sistema de ecuaciones 6.3 a 6.6.

$$V = \frac{\pi D^3}{8} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

$$V_{intercambio} = FAT_{intercambio} / \rho \quad \text{Ecuación 6.4}$$

$$V_{bombas} = h_{seguridad} \pi D^2 / 4\rho \quad \text{Ecuación 6.5.}$$

$$V = V_{intercambio} + V_{bombas} \quad \text{Ecuación 6.6.}$$

Finalmente se asigna una altura de seguridad adicional en caso de que errores en el control aumenten la densidad del fluido. Los estanques calientes y fríos se diseñan con medidas idénticas, lo que se debe a que en caso de emergencia (falla en el estanque) sea posible acumular la mayor cantidad de fluido en un solo estanque.

Para certificar la calidad de los estanques no se cuenta con normas internacionales que avalen la resistencia del contenedor, por lo cual se utilizan las normas ASME y AIAA para calderas y vasijas presurizadas. En dichos estándares se detallan requerimientos para:

- Encaje de componentes
- Equipos de alivio de presión y esfuerzo
- Inspecciones
- Construcción
- Materiales
- Soldaduras

6.2.2. Materiales en los medios de almacenamiento térmico y estanques.

El almacenamiento pasivo suele recurrir a materiales sólidos como buffer de calor, pero el almacenamiento térmico puede ser realizado en diversos medios. Las Tablas 6.5 a 6.7 enlistan unos cuantos de estos materiales utilizados para almacenar calor.

Tabla 6. 5. Medios de almacenamiento térmico sólidos

Medio	Temperatura		Densidad Kg/m3	Conduct térmica W/mK	Cap. térmica Kj / kgK	Cap. térmica vol. kWh _t / m ³	Costo USD / Kg	Costo USD / kWh _t
	Frio °C	Caliente °C						
Aceite mineral arenoso-rocoso	200	300	1700	1,00	1.30	60	0,15	4,2
Concreto reforzado	200	400	2200	1,50	0.85	100	0,05	1,0
NaCl Solida	200	500	2160	7,00	0.85	150	0,15	1,5
Fierro Fundido	200	400	7200	37,00	0.56	160	1,00	32,0
Acero Fundido	200	700	7800	40,00	0.60	450	5,00	60,0
Ladrillos refractarios de Si	200	700	1820	1,50	1.00	150	1,00	7,0

Fuente: [125] M. Ulf Herrmann, D. Kearney

Tabla 6. 6. Medios de almacenamiento térmico líquidos

Medio	Temperatura	Densidad	Conduct. térmica	Cap. térmica	Cap. térmica vol.	Costo	Costo	Costo
Aceite mineral	200	300	770	0,12	2.6	55	0,30	4,2
Aceite sintético	250	350	900	0,11	2.3	57	3,00	43,0
Aceite silicona	300	400	900	0,10	2.1	52	5,00	80,0
Sal Nitrito	250	450	1825	0,57	1.5	152	1,00	12,0
Sal Nitrato	265	565	1870	0,52	1.6	250	0,50	3,7
Sal Carbonatada	450	850	2100	2,00	1.8	430	2,40	11,0
Sodio Liquido	270	530	850	71,00	1.3	80	2,00	21,0

Fuente: [125] M. Ulf Herrmann, D. Kearney

Tabla 6. 7. Medios de almacenamiento térmico con cambio de fase[125]

Medio	Temperatura		Densidad	Conduct. térmica	Cap. térmica	Cap. térmica a vol.	Costo	Costo
	Frio °C	Caliente °C						
NaCl		802	2.160	5,0	520	280	0,15	1,2
Na₂CO₃		854	2.533	2,0	276	194	0,20	2,6
NaNO₃	308	2.257	0.5	200	125	0,20	3,60	
KNO₃	333	2.110	0.5	267	156	0,30	4,10	
KOH	380	2.044	0.5	150	85	1,00	24	
Sal Cerámica (NaCO₃-BaCO₃/MgO)	500-850	2.600	5.0	420	300	2,00	17	

Fuente: [125] M. Ulf Herrmann, D. Kearney

Los tanques de almacenamiento deben ser capaces de resistir la presión del fluido que almacenan, soportar las temperaturas y la posible corrosión. Se Busca mantener los menores costos de instalación, operación y desmantelamiento posibles. La Figura 6.2, permite observar el desglose de costos en instalaciones existentes.

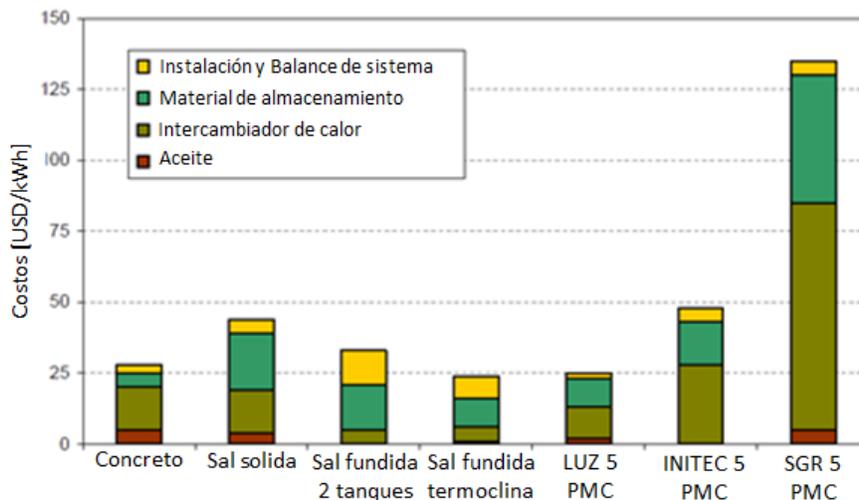


Figura 6. 2. Distribución de costos para distintos materiales de almacenamiento térmico.[125]

Se evita utilizar tanques netamente de acero inoxidable debido al alto costo del material. En su lugar se recomienda utilizar una estructura de acero carbono, aislada del fluido de almacenamiento. Para instalaciones de elevada temperatura se recubre la superficie interior de la estructura con el material aislante (250 mm de ladrillos refractarios de alta porosidad) y se protege el material aislante con láminas de acero inoxidable capaz de resistir las temperaturas solicitadas, de acuerdo al estándar AISI321H. Para evitar concentraciones de esfuerzos en las paredes, se debe asegurar un buen contacto entre las paredes de acero y el material aislante, la solución más utilizada es rellenar los espacios con materiales fibrosos (como fibra cerámica).

Los cimientos del estanque deben soportar la carga del fluido y la estructura, junto con aislar el sistema (evitando pérdidas térmicas hacia el suelo). Una solución a estos requerimientos es la de utilizar múltiples capas en los cimientos. Para altas temperaturas se utiliza un sistema como el descrito en la Tabla 6.8, y presentado en la Figura 6.3.

Tabla 6. 8. Consideraciones para los cimientos de un estanque de almacenamiento a alta temperatura

Material	Espesor
Ladrillos refractarios	300 mm
Estructura de acero carbono	De acuerdo al peso del estanque lleno
Lecho de arena fina	30 a 100 mm
Ladrillos refractarios	200 mm
Cimentación térmica Foam-Glass	50 mm
Cimiento de concreto con canales de ventilación.	De acuerdo al peso del estanque lleno

Para sistemas a operando a menos de 170 °C una alternativa económica de SAT, corresponde a la utilización de agua presurizada hasta 8 Bar como medio de almacenamiento. Dicho fluido es cuanto menos 40 veces más económico que materiales como sales fundidas. En Chile minera El Tesoro emplea dicho sistema para almacenar hasta 300 m³ de agua caliente a 14 Bares, empleando planchas de acero con 22 mm de espesor.

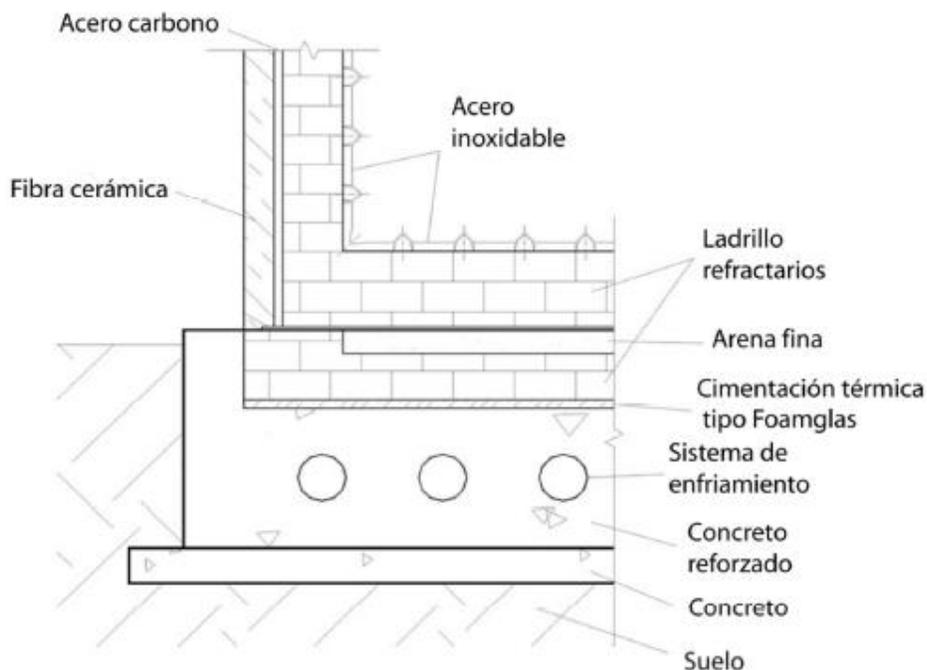


Figura 6. 3. Diseño de paredes y cimentación para tanques térmicos para altas temperaturas. [126]

Respecto al techo del tanque se considera una geometría elipsoidal, apoyada sobre la estructura de acero carbono del estanque.

De forma similar al diseño de las paredes, el techo de la estructura es aislado térmicamente utilizando 200 mm de fibra cerámica, protegida de ataques corrosivos por medio de láminas de acero inoxidable. La superficie exterior del estanque puede ser cubierta con 150 mm de fibra cerámica y aluminio.

Dependiendo del fluido de almacenamiento a utilizar, se podría requerir incorporar sistemas para asegurar la estanqueidad de la atmosfera a utilizar. Se suelen usar atmósferas ricas en nitrógeno, evitando atmósferas oxigenadas, el CO_2 y la humedad. Para disminuir el consumo de nitrógeno los tanques son conectados en sus cúspides, a modo de que cuando un tanque se llena con nitrógeno, fluya inmediatamente hacia el otro, manteniendo las presiones entre tanques.

6.2.3. Procesos de manufactura para estanques

Los procesos de manufactura para los estanques resultan similares a los de estructuras, pero con requisitos aún más estrictos. Se hace especial uso de plegadoras de planchas para curvar el acero y soldadura para sellar las uniones entre piezas.

6.2.4. Mercado internacional

Usualmente los sistemas de almacenamiento corresponden a obras civiles y de construcción desarrolladas de forma local, con potencial asistencia en el diseño y

arquitectura del sistema. Los medios de almacenamiento suelen ser aportados por grandes proveedores.

La empresa con mayor experiencia en el desarrollo de plantas de concentración solar con almacenamiento térmico es la empresa española Sener. Contando con, cuanto menos, 12 plantas solares con almacenamiento térmico por medio de sales fundidas.

La otra empresa con experiencia en el desarrollo de instalaciones con almacenamiento térmico por medio de sales fundidas es Flagsol, quien desarrolló la tecnología antes de la inclusión de Sener en el negocio. Flagsol trabajó la ingeniería, adquisición e instalación del sistema de almacenamiento para Andasol 3.

6.2.5. Industria Nacional

Chile cuenta con la ventaja competitiva de ser el mayor proveedor de sales de Nitrato de Sodio y Nitrato de Potasio a escala mundial, con la empresa SQM. Una planta de 50MW_{el} con almacenamiento para 7,5hrs, requiere entorno al 3% de la producción anual de SQM, con una producción anual de 277,7 Mton de Nitratos Industriales el año 2012. Sin embargo el costo de almacenar en sales solares se estima entre 925 y 1850 USD/m³, mientras que el agua obtenida en plantas de osmosis inversa tiene un valor de 0,16 y 1,07 USD/m³. Considerando que el agua tiene calor específico cercano a 4,3 Kj/kgK y la sal solar tan solo de 1,5 Kj/kgK, se observa que el agua puede almacenar unas tres veces más energía con un milésimo del costo de las sales solares. Sin embargo almacenar energía en agua requiere trabajar agua presurizada. Se utilizan tanques de 100 m³, con paredes de 22 mm de espesor, para mantener agua a 14 Bar hasta 190°C. Se estima el costo de dichos tanques en cuanto menos 78.000 USD.

En relación a la fabricación e instalación de tanques de almacenamiento en Chile han destacado 16 empresas desde la base de datos de SOFOFA, al realizar la búsqueda con las palabras claves “estanques térmicos”. Resultando en proveedores para estanques de acero inoxidable, fibra de vidrio, fibro cemento y estanques metálicos. Se descartan aquellas que se dedican a importar estanques como representantes para instituciones extranjeras. Las instituciones manufactureras nacionales se enfocan en los rubros petroleros, alimenticios, laboratorios, vitivinícolas, pesqueras, celulosa y de cementos. Muchas de estas maestranzas presentan trabajos genéricos en aceros, dándoles disponibilidad para fabricar la estructura del colector mismo. Las Tabla 6.9 a 6.12, presenta algunos de los proveedores destacados.

Tabla 6. 9. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos

Empresa	Trayectoria y Productos	Industria atendida
Aceros Scherson	<p>Trayectoria: Con 40 años de trayectoria, en la industria del acero inoxidable. Actualmente se enfocan en la industria heladera. Especializándose en tres productos:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Moldes, con embutido profundo •Barras extractoras de helados •Platos para máquinas rollo 	Alimenticia

Tabla 6. 10. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos.
Continuación tabla 6.9.

Empresa	Trayectoria y Productos	Industria atendida
Bertoto Boglione de Chile	Instalada desde 1948, enfocada a producir tanques cilíndricos horizontales. Trabajando en cuatro divisiones: <ul style="list-style-type: none"> • Aceros • Plásticos • Accesorios 	Petrolera Alimentos Agrícola
American Gate Trading	Conjunto de empresas dedicada a asistir cuatro rubros: Minería, Industrial, Tecnología, Financiera. Promedio de: <ul style="list-style-type: none"> • Implementación venta y puesta en marcha de tecnología minera. • Reparación líneas de lubricación y aire. • Diseño, instalación, puesta en marcha y deposición equipos en acero inoxidable. • Proveedores y gestión de maquinaria industrial. 	Minería Montaje y construcción industrial Higiene y cosméticos Viñas y cervezas Pesqueras
Aco Industrial	Desde 1992 asiste a constructoras, ferreterías, minería y transportes. <hr/> Ofrece servicios de: <ul style="list-style-type: none"> • Corte • Plegado • Oxicorte • Soldaduras • Pintura Productos <ul style="list-style-type: none"> • Estanques para aire comprimido y petróleo • Pipping • Ventiladores neumáticos axiales • Ductos • Porta barricas Maquinaria y elementos de apoyo 	Minería Embotelladora
Esmital Ltda. Montajes y servicios industriales	Más de 35 años de experiencia, ubicados en Talcahuano Chile. Incorporan CNC para corte veloz de precisión y brazos robóticos para soldar, junto con emplear procesos tradicionales como corte, plegado, soldadura y fundición, para producir: <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Intercambiadores de calor • Prensa • Secadores • Enfriadores • Molinos • Limpiadores centrífugos • Ventiladores • Recipientes a Presión 	Pesquera Celulosa Cementos Petrolífera Azucarera Cereales
Reyne	Fundada a mediados de 1975, con sede en Conchalí, Santiago. <hr/> Producen: <ul style="list-style-type: none"> • Calderería • Autoclaves • Estanques rodeados • Plantas de bebida • Implementos para construcción • Estanques genéricos 	Alimenticia Construcción Diseño Industrial Forestal Minera Química Papelera Pesquera Vitivinícola

Tabla 6. 11. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos
continuación Tabla 6.10.

Empresa	Trayectoria y Productos	Industria atendida
Tersainox Ficom S.A.	<p>Una industria separada en cuatro divisiones o sectores de atención para confeccionar sus productos a pedido.</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Industrial: Trabaja aceros inoxidables dúplex, aceros alto níquel, Hastelloy, titanio, otros, opera acorde a normas API, ASME, THEMA, DOT. • Transportes: Diseña y construye equipos para transportar productos sensibles como leche, combustibles, químicos, cemento, granos. • Agroindustria: Fabrica e instala tanques con agitación, control térmico y utilización de materiales sanitarios. • Vitivinícola: Produce tanques de fermentación de distintos tipos. • Desarrollo: Buscando nuevas formas de trabajar los materiales. <p>Productos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estanques de acero inoxidable • Equipos de transporte • Estanques fermentadores • Estanques para procesos • Gratings • Pipping • Spools • Estanques enfriadores de leche • Estanques con calefacción • Camiones cisterna para leche • Estructuras con acero inoxidable ferrífico • Desalinizadora de agua de mar 	<p>Industrial:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Celulosa • Minería • Pesca • Papel • Química Transportes • Química • Petrolífera • Granos secos • Vitivinícola Agroindustria • Azúcar • Lácteos • Laboratorios • Aceites vegetales • Frutera
Inoxtig	<p>Empresa dedicada a la fabricación, reparación e instalación de productos en acero inoxidable. Con ya casi 40 años de experiencia.</p> <p>Productos en acero inoxidable como: Bandejas, autoclaves, correas transportadoras, estanques, mesones, lavaplatos, equipos con termostatos y niveles térmicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alimenticio • Textil • Médico
Sigu Ingeniería y Construcción	<p>Fundada hacia 1969, mantiene, fabrica y pone en marcha de equipos mecánicos para la industria nacional. Contando con 80 trabajadores y 8 ingenieros mecánicos.</p> <p>Desarrolla, manufactura y comercializa equipos para diversos rubros, ya sean grúas, elevadores, caldaria, mecanizado con tornos CNC, fresa, perforadora, escoplos.</p>	<p>Forestal</p> <p>Movimiento de residuos</p> <p>Prototipos</p> <p>Astillaría</p> <p>Minería</p>
Ingemec Ltda.	<p>Empresa especializada en trabajos de máquinas, herramientas, equipos de climatización, plantas térmicas y confección de estructuras metálicas. Ofrece diversos servicios de maestranza con proceso de torno, fresa, taladro radial, soldaduras de diversos metales y técnicas. Realiza montajes Industriales para diversos rubros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad industrial • Suministro eléctrico • Minería • Combustibles • Papeleras • Celulosas

Tabla 6. 12. Empresas nacionales con experiencia en confección de tanques para almacenamiento de fluidos
continuación Tabla 6.11.

Empresa	Trayectoria y Productos	Industria atendida
Inoxa S.A.	<p>Empresa fundada el año 2003, dedicada a la fabricación de estanques, equipos y estructuras en acero inoxidable y otros metales exóticos. Con instalaciones en la comuna de Quilicura, Santiago. Atiende a nivel nacional e internacional.</p> <p>La empresa cubre los procesos que van desde el diseño conceptual hasta la puesta en marcha de diversos proyectos, contando con servicios de soldaduras (SMAW, GTAW, SAW, GMAW, PAW). Capaz de realizar ensayos de presión hasta 900 PSI. Trabajan metales exóticos como Titanio, Hastelloy, Duplex, 2205, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Minería • Química • Celulosa • Forestal • Alimenticia • Vitivinícola • Petrolera • Aceites • Pipping y tratamiento de fluidos.
Maestranza Maipú	<p>La mayor empresa de servicios en acero nacional con 55.000 m² de taller. Ofrece servicios de corte, pliegue, fleje, cilindrado, alisado, almacenamiento, bombeo, reborde, perforaciones, ensamblar, soldar, granallar y pintar acero.</p> <p>La empresa produce: Perfiles de acero plegado o soldado, planchas, pipping, calderería (cabezales, estanques, silos, tolvas y chutes), estructuras especiales como carros y equipos, puentes grúa y portales.</p>	<p>Ofrecen servicios de maquinado CNC, alisado, revestimientos industriales para acero, emplantillado, bombeo de cabezales, rebordeado a toda industria que lo requiera.</p>
Rudel	<p>Fundada a mediados de los 60's, con instalaciones en Laja, nacimiento y escuadrón, surge y crece como empresa que brinda asistencia a papeleras y forestales. Con especial atención en calderas recuperadoras y de poder. Más de 2.000 m² en infraestructuras.</p> <p>Especialista en mantención de calderas industriales. Construcción de estanques, equipos rotatorios, electro control. Trabajo en acero inoxidable y aceros exóticos.</p>	<p>Química Alimenticia Montajes Tratamientos de agua Forestal Papel Pesquera</p>
TPI Chile	<p>Fundada en 1982, trabajan el acero inoxidable, titanio y aleaciones especiales. Gracias a la alianza con PACKO, empresa Belga. Instalaciones en Quilicura, Santiago de Chile. Acreditado por ASME para diseñar y fabricar recipientes y cañerías a presión.</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;">• Intercambiadores de Calor <li style="width: 50%;">• Bombas centrífugas <li style="width: 50%;">• Cañerías <li style="width: 50%;">• Bombas helicoidales <li style="width: 50%;">• Bombas de tornillo <li style="width: 50%;">• Estanques <li style="width: 50%;">• Bombas excéntrico <li style="width: 50%;">• Flanjes 	<p>Química Industrial Lácteos Bebidas Cervecería Vitícola Farmacéutica</p>

Resulta apropiado mencionar la posibilidad de presentar fabricantes de intercambiadores de calor fabricando piezas prefabricadas de los estanques. Resaltando empresas como TPI, fabricante de estanques e intercambiadores de calor. Se observa que el

trabajo de maestría ofrecido por la mayoría de los proveedores vistos los habilita para producir la estructura del colector considerado.

6.3. Intercambiadores de Calor

6.3.1. Caracterización y diseño de intercambiadores de Calor

Los intercambiadores de calor son equipos indispensables para la apropiada utilización de la energía solar. Pese a poder utilizarse directamente el fluido calentado en los colectores, también es posible utilizar intercambiadores de calor para almacenar una porción de la energía recibida. Existen diversos diseños de intercambiadores de calor que se podrían utilizar para traspasar el calor desde el fluido térmico al fluido de almacenamiento. Los diseños más comunes son los de placas paralelas y carcasas y tubos. La industria CSP prefiere la utilización de intercambiadores de carcasa y tubos, Figura 6.4, principalmente debido a su rango para operar a cualquier temperatura o presión, con bajas caídas de presión. Entre sus características destacan:

- Operan a cualquier temperatura y presión, incluyendo vacío parcial.
- Fluidos monofásicos, condensación y ebullición.
- Dimensiones limitadas solo por mecanismo de transporte.
- Caída de presión ajustable.
- Robustos y pesados, con gran razón volumen/área (no compactos).

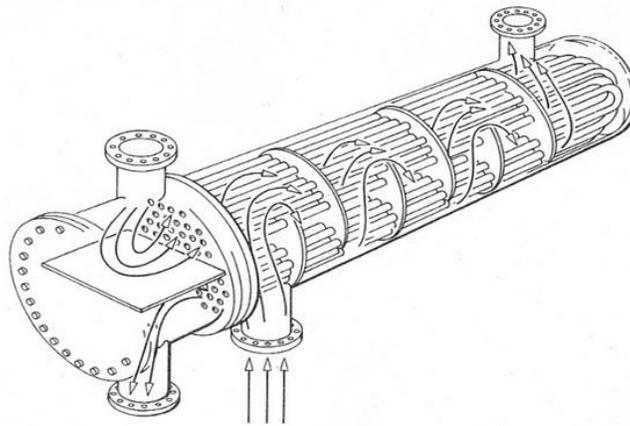


Figura 6. 4 Descripción gráfica de un intercambiador de carcasas y tubos.[127]

El procedimiento de diseño comienza con definir los siguientes parámetros:

- Temperaturas y presiones de los caudales a trabajar.
- Los caudales y corrosividad de los fluidos.
- La caída de presión admisible.
- Las resistencias de ensuciamiento correspondientes.

Se procede a definir coeficientes convectivos individuales y resistencias de ensuciamiento para formar un coeficiente global de intercambio (U) preliminar. Se define si los perfiles de temperatura permiten utilizar flujos a contracorriente. El flujo global de

intercambio térmico es descrito por la Ecuación 6.7 donde \dot{Q} corresponde al flujo de calor entregado al HTF, y ΔT_{Ln} la temperatura media logarítmica del intercambiador.

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{Ln} \quad \text{Ecuación 6.7.}$$

Se utilizan las Tablas 6.13 y 6.14 para comenzar a estimar el valor del coeficiente global de intercambio en función del fluido y aplicación a considerar.

Tabla 6. 13. Coeficientes de transferencia y ensuciamiento típicos para intercambiadores de carcasas.

Condición		$W/(m^2 K)$	$[kW/(m^2 K)]^{-1}$
Transferencia de calor sensible			
Agua	Líquida	5.000-7.500	0,1-0,3
Amonio	Líquido	6.000-8.000	0-0,1
Orgánicos ligeros	Líquidos	1.500-2.000	0.1-0.2
Orgánicos medios	Líquidos	750-1.500	0,2-0,4
Orgánicos pesados	Líquido		
	Calentando	250-750	0,2-1,0
	Enfriando	150-400	0,2-1,0
Orgánicos muy pesados	Líquidos		
	Calentando	100-300	0,4-3,0
	Enfriando	60-150	0,4-3,0
Gas	1-2 Bar abs	80-125	0-0,1
Gas	10 Bar abs	250-400	0-0,1
Gas	100 Bar abs	500-800	0-0,1
Transferencia de calor de condensación			
Vapor, Amoniac	Sin in-condensable	8.000-12.000	0-0,1
Orgánicos ligeros	0.1 Bar abs, sin in-condensables	2.000-5.000	0-0,1
	0.1 Bar abs, 4% in-condensables	750-1.000	0-0,1
Orgánicos medios	Puros o rango de condensación esbelto. 1 bar.	1.500-4.000	0,1-0,3
Mezcla de condensables ligeros	Rango de condensables medio	1.000-2.500	0-0,2
Orgánicos pesados	Rango de condensación esbelto, 1 bar.	600-2.000	0,2-0,5
Mezcla de condensables medios.	Rango de condensables medio	600-1.500	0,1-0,4
Mezcla de condensables pesados	Rango de condensables medio	300-600	0,2-0,8
Transferencia para vaporizar			
Agua	Presión <5 bar abs $\Delta T = 25K$	5.000-10.000	0,1-0,2
Agua	Presión 5-100 bar abs, $\Delta T = 20K$	4.000-15.000	0,1-0,2

Fuente: [128] S. Kakac

Tabla 6. 14. Coeficientes de transferencia y ensuciamiento típicos para intercambiadores de carcasas.
Continuación Tabla 6.13.

Condición		$W/(m^2 K)$	$[kW/(m^2 K)]^{-1}$
Transferencia para vaporizar			
Agua	Presión <5bar abs $\Delta T = 25K$	5.000-10.000	0,1-0,2
Agua	Presión 5-100 bar abs, $\Delta T = 20K$	4.000-15.000	0,1-0,2
Amoniaco	Presión <30 bar abs, $\Delta T = 20K$	3.000-5.000	0,1-0,2
Orgánicos ligeros	Puros, Presión <30 bar abs, $\Delta T = 20K$	2.000-4.000	0,1-0,2
	Rango de evaporación esbelto, Presión 20-150 bar abs, $\Delta T = 15 - 20K$	750-3.000	0,1-0,3
Orgánicos medios	Rango de evaporación esbelto, Presión <20 bar abs, $\Delta T = 15K$	600-2.500	0,1-0,3
Orgánicos pesados	Rango de evaporación esbelto, Presión <20 bar abs, $\Delta T = 15K$	400-1.500	0,2-0,8

Fuente: [128] S. Kakac

Así se llega a una caracterización del colector como la presentada en la Tabla 6.15, por la empresa alemana Funke.

Tabla 6. 15. Características intercambiadores de tubos desarrollados por Funke

Característica	Mínimo	Máximo
Rendimiento	1 kW	30MW
Superficie de intercambio	0,11 m ²	2.000m ²
Diámetro de Carcasa	60 mm	2.000mm
Temperatura de servicio	-20°C	500°C
Presión de servicio		600 bar

Fuente: [129] Funke. 2013

La confección de intercambiadores es normada por los estándares internacionales PAD, ASME, TEMA, API.

6.3.2. Materiales utilizados en la confección de intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calor de calor que buscan aumentar la temperatura de algún fluido, intentan retener el intercambio térmico dentro del volumen del colector y evitar pérdidas hacia el ambiente, razón por la cual se suele utilizar algún medio aislante para cubrir el intercambiador. También es importante considerar que el colector no se debe degradar con el paso del material por su interior y debe ser capaz de retener las presiones de trabajo, por esta razón es un material común para los intercambiadores, sin embargo, distintas empresas utilizan distintos materiales y aleaciones para fabricar intercambiadores correspondientes. La Tabla 6.16, presenta algunos materiales utilizados en la confección de algunos intercambiadores en función de su diseño. Destaca la diversidad de materiales empleados para la confección de los intercambiadores de calor.

Tabla 6. 16. Materiales de un intercambiador de calor comercial,

Componentes	Materiales
Tubos internos	CuZn ₂₈ SnAs (CW706R)
Placas	CuZn ₃₈ Al-C-GM (CC767S-GM)/CuZn ₃₈ AlFeNiPbSn (CW715R)
Baffles	CuZn ₃₇ (CW508L)
Carcasa	CuZn ₃₇ Pb _{0,5} (CW508L)
Cámaras de conexión	EN-GJL-200
Tuercas	8,8.-Zn
Juntas	Comerciales
Pinturas	Comerciales
Aislamiento	Lana mineral con chapas de acero galvanizado o inoxidable

Fuente: [129] Funke. 2013

6.3.3. Procesos de manufactura

La principal dificultad de los intercambiadores de calor es el apropiado diseño del sistema. Una vez establecido el plano a seguir, los procedimientos de manufactura son similares a los de trabajos genéricos con acero, por lo cual las maestranzas que cuenten con sistemas para cortar por medio de fresado, tornos y con capacidad para soldar son capaces de fabricar el intercambiador. Los intercambiadores deben ser debidamente sellados, lo cual requiere el correcto procedimiento de soldaduras, apernados y sellos.

Las ventajas de los grandes proveedores de intercambiadores de calor radica en sus equipos de control automático para realizar cortes y soldar lo metales. En caso de utilizar metales complejos de trabajar, como aleaciones de titanio, podría ser necesaria la utilización de un “Cuarto Limpio” para procesar los materiales.

6.3.4. Productores Internacionales de Intercambiadores de Calor

Se estima que para el año 2019 el mercado internacional de intercambiadores de calor llegue a los 21.084,3 Millones USD. Con un crecimiento anual de 7,2%. Sustentado en las propiedades pro ambientales y de eficiencia en los intercambiadores, potenciado por las políticas energéticas que adoptan distintos países. Este es el caso de Europa con un 30% del mercado y los mercados emergentes en China, Japón, India, Arabia Saudita y Brasil, por su creciente actividad industrial.[130]

A nivel internacional hay algunas industrias que destacan por sus intercambiadores de calor de calidad. Las Tablas 6.17 y 6.18 presentan algunas de las empresas destacadas a nivel internacional.

Tabla 6. 17. Productores de intercambiadores de calor a nivel mundial

Empresa	Procedencia	Contactos
Alfa-Laval	Suecia	Plantas: 15 en Europa, 8 en Asia, 4 en EE.UU. 1 en América Latina (Brasil). Presencia en Chile
Api	Alemania	Plantas: EE.UU., China, Reino Unido, India, Alemania.

Tabla 6. 18. Productores de intercambiadores de calor a nivel mundial. Continuación Tabla 6.17.

Empresa	Procedencia	Contactos
Gunter Ag & Co	Alemania	Producción: Alemania, Hungría, Rusia, Indonesia, México, Brasil.
Hamon & Cie	Francia	Presencia: Chile, EE.UU., Brasil, Canadá, Sud África, España, Francia, Reino unido, Italia, Alemania, Polonia, Rusia, Arabia Saudita, India, China, Tailandia, Vietnam, Indonesia, Australia.
Hindustan Dorr	EE.UU.	Plantas: India
Hisaka Works	Japón	Plantas: Japón (Osaka), Arabia Saudita, China, Corea, Indonesia, Tailandia Representantes: Kuwait, U.A.E. Taiwán, Australia.
Hrs Heat Exchangers	Reino Unido	Ventas: España, Reino Unido, EE.UU., India, Malasia, Nueva Zelanda, Australia, Republica Checa, Dinamarca, Finlandia, Francia, Grecia, Países Bajos, Noruega, Portugal, Rusia, Suecia, Turquía, Chipre y Azerbaiyán.
Koch Heat Transfer Company	EE.UU.	Plantas: EE.UU., Canadá, Italia.
SPX	EE.UU.	Plantas: EE.UU. Canadá, Francia, Reino Unido.
Xylem	EE.UU.	Plantas productivas: India, EE.UU., Reino Unido, Polonia, Austria, Hungría, Italia, Pilipinas, China.
Sterling Thermal Technology	Reino Unido	Plantas productivas: Reino Unido
Gea Group	Alemania	Plantas: EE.UU. Ventas: Argentina, Australia, Bélgica, Brasil, China, Finlandia, Francia, India, Italia, Japón, Medio oriente, Rusia, Sud África, Sud Este Asiático, España, Turquía, Reino Unido, EE.UU.
Danfoss	Dinamarca	Plantas: Francia, Brasil, China, México, EE.UU.

Fuente: [130] Markets&Markets

Se observan dos categorías para las empresas proveedoras a nivel mundial, por un lado se han encontrado instituciones fundadas durante la primera mitad del siglo por grupos pequeños de uno o dos ingenieros, y luego se observan las instituciones fundadas recientemente por grandes grupos de accionistas.

6.3.5. Industria Nacional de Intercambiadores de Calor

La industria de intercambiadores en el país cuenta con unos cuantos productores nacionales y es apoyado por importaciones desde el exterior. Para los primeros tres trimestres del año 2014 las importaciones llegaron a más de 5.7 millones de USD.

Chile cuenta con tres grandes industrias: alimentos, maderas, y recursos minerales (especialmente cobre). Dada la situación chilena como gran exportador de productos alimenticios, surge la necesidad de instalar equipos de intercambio térmico capaces de asegurar la correcta preservación de la producción perecible. Los procesos de refinación mineral también suelen requerir la utilización de intercambiadores de calor para separar los minerales, especialmente en el caso de la lixiviación. El país también cuenta con otras

industrias que requieren equipos de intercambio térmico, como es el caso de la industria energética por quema de combustibles fósiles y la farmacéutica. Dejando así importantes nichos para el mercado de equipos de intercambio térmico.

Algunas empresas nacionales han aprovechado la situación y se han posicionado en el mercado nacional e incluso exportado sus productos a países vecinos y hasta a otros continentes. Tabla 6.19 y 6.20.

Tabla 6. 19. Principales instituciones productoras de intercambiadores de calor en Chile

Empresa	Trayectoria y Productos	Industrias atendidas
Coppex	Fundada el año 2000, surge de una empresa de ingeniería fundada el año 1992. Con principales Productos: <ul style="list-style-type: none"> • Ventiladores industriales • Convectores de aire forzado 	<ul style="list-style-type: none"> • Minería • Fundición
Westfalia-Separator	Planta de fabricación instalada desde 1990, con dependencia directa de Alemania. Cuenta con una planta de fabricación instalada con dependencia directa de Alemania. Confecciona productos para plantas de generación eléctrica con motores diésel, ciclo combinado o Turbogas. <ul style="list-style-type: none"> • Purificación de combustibles • Lavado de combustibles líquidos destilados • Inactivación elementos corroyentes Tratamientos de aguas oleosas.	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentos • Aceites minerales • Almidones • Aplicaciones medio ambientales • Biotecnología Industrial • Grasas y Aceites • Química y Farmacias.
Esmital	Más de 35 años de experiencia, ubicados en Talcahuano Chile. Incorporan CNC para corte de precisión y brazos robóticos para soldar, junto con procesos tradicionales como corte, plegado, soldadura y fundición para producir: <ul style="list-style-type: none"> • Intercambiadores de calor • Cocedores • Prestrainers • Prensa • Secadores • Enfriadores • Molinos • Limpiadores centrífugas • Ventiladores • Recipientes a presión 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentos • Pesquera • Papelera • Cementos • Petroleras • Forestales • Azucareras
TPI, Tecnología de Procesos Industriales	Fundada en 1982, trabajan el acero inoxidable, titanio y aleaciones especiales. Bajo la orientación de la empresa belga PACKO. Cuenta con instalaciones en Quilicura, Santiago. Esta acreditada por ASME para diseñar y fabricar recipientes y cañerías a presión. <ul style="list-style-type: none"> • Intercambiadores de calor • Cañerías • Flanjes • Estanques • Bombas centrífugas • Bombas helicoidales • Bombas de tornillo excéntrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Química y Procesos • Lácteos • Bebidas • Cervecería • Vitícola • Farmacéutica

Tabla 6. 20. Principales instituciones productoras de intercambiadores de calor en Chile Continuación Tabla 6.19.

Empresa	Trayectoria y Productos	Industrias atendidas
Industrial y Comercial Paicavi	Más de 30 años de servicio, trabajando desde la ciudad de Concepción fabricando y reparando: <ul style="list-style-type: none"> • Intercambiadores de calor de carcasa y tubos • Radiadores vehiculares e Industriales • Condensadores y evaporadores • Cambio de tubos en intercambiadores previamente instalados. • Limpieza de intercambiador y ensayo de estanqueidad Soldaduras de alta precisión	<ul style="list-style-type: none"> • Papelera • Forestal • Química • Astilleros • Minería • Petrolíferas • Generación eléctrica de potencia
Industria Nacional de Piezas y Partes Metalúrgicas, INPPA	Parte del Holding INPPA, fundada en 1949, con instalaciones en Santiago de Chile. En las que se produce y atiende las necesidades de intercambiadores térmicos y reactores	Construcción Energía Ing. Térmica Geología Transportes

6.4. Bombas

6.4.1. Caracterización y estándares de Calidad

Al seleccionar la bomba para circular un sistema de transferencia térmica se debe tener presente una serie de parámetros. La bomba se debe acomodar a la temperatura, presión y propiedades del fluido a trabajar. La selección inapropiada de la bomba llevará a pérdidas en el sistema e incluso la falla catastrófica de la bomba y otros equipos.

Para la circulación de fluidos de transferencia térmica se pueden catalogar las bombas disponibles en dos grandes grupos:

- **Bombas de desplazamiento positivo:** Generan una cavidad que se llena con el fluido a trabajar. Luego el fluido es forzado a evacuar la zona al aplicar esfuerzos sobre el lugar. Es importante notar que bombas de desplazamiento positivo recíprocante, como una bomba de diafragma, no suelen estar diseñadas para trabajar con fluidos de transferencia térmica.
- **Bombas centrífugas:** Utilizan aspas rotatorias, impulsadas por un motor o turbina, para entregarle energía cinética al fluido, con lo cual se incrementa la presión estática en el medio. El fluido ingresa a la bomba desde el eje central y es evacuada de forma radial hacia la salida.
- Se menciona la alternativa de utilizar **bombas impulsadas magnéticamente**, para reducir la necesidad de sellos.

Uno de los puntos más importantes para la selección de la bomba a utilizar es la de considerar la viscosidad del fluido a trabajar. Se menciona que a mayores temperaturas, la viscosidad de los fluidos tiende a disminuir. El rango de operación de las bombas está determinado por el “punto de bombeo” y la “máxima temperatura operacional del fluido”. El primero corresponde a la temperatura a la cual la viscosidad de un fluido alcanza 2 PaS,

o 2.000 Cent poises. A dicha viscosidad, no se hace posible utilizar bombas centrífugas para mantener el flujo del fluido. Es importante observar que la mayoría de los HTF, especialmente los a base de petróleo, pierden gran parte de su capacidad térmica al acercarse al punto de bombeo.

Las bombas centrífugas operan idealmente a baja viscosidad, en torno a 500 cP. En dicho rango son capaces de bombear la mayor parte de los HTF en el mercado, sin embargo, dado que las bombas centrífugas operan al ritmo del motor que las energiza se dan grandes pérdidas de rendimiento y caudal, en la medida que aumenta la viscosidad. Para fluidos de alta viscosidad se hacen útiles las bombas de desplazamiento positivo, con capacidad para bombear viscosidades de hasta 1.000.000 cP.

El siguiente parámetro a tener en consideración es la capacidad del sistema. Las bombas centrífugas son capaces de bombear grandes caudales de hasta 450m³/min. Por el contrario, las bombas de desplazamiento positivo (como bombas de engranajes), no son capaces de bombear grandes caudales, pero entregan caudales constantes, libres de pulsaciones, independientes a variaciones en las condiciones del sistema.

La mayoría de los sistemas de circulación para fluidos de transferencia térmica operan a menos de 3.5 atm, con lo cual es posible utilizar bombas centrífugas o de desplazamiento positivo. Las bombas centrífugas suelen operar con un máximo de 3,75 Atm.

En general cada institución suele emplear sus propios estándares de calidad para las bombas que fabrican, orientándose esencialmente a la gestión de la empresa. Pero destaca la utilización de las normas ASME N, NS y NPT para bombas en plantas eléctricas, junto con las normas KTA para el diseño y manufactura de bombas en centrales nucleares.

6.4.2. Industria Internacional

La industria de bombas tiene un mercado internacional de 31,636 Millones de USD para el año 2006. Mercado en el cual las Américas involucran un 33.9%. [160]

La industria internacional de bombas cuenta con más de 5.000 fabricantes a nivel mundial, mercado en el cual se distinguen tres grupos importantes de proveedores:

- Grandes compañías con ingresos que exceden 1 Billón USD, entre las que se incluyen (ITT, Fluid Technology, Grundfos, KSB, Ebara, Flowserve).
- Industrias con ingresos de entre 100 millones y 1.000 millones USD.
- La gran mayoría de Industrias con ingresos inferiores a 100 Millones USD.

Unas cuantas industrias son públicas, y un grupo mayor de industrias resulta ser subsidiario de compañías públicas, pero la mayoría de estas empresas son privadas de pequeño a mediano tamaño, usualmente familiares.

Las industrias compiten entre sí por medio del diseño, marketing, procesos de manufactura e investigación y desarrollo, pero concuerdan en que el soporte post-ventas es un eje central en el negocio. Esto incluye venta de repuestos, reparaciones y overhauls, apoyo técnico, instalación, puesta en marcha e inspecciones.

El negocio de las bombas es fuertemente influenciado por el desarrollo económico, al ser un equipo crítico en las operaciones de: tratamiento de agua, pulpa y papel, generación eléctrica, química, petroquímica y minera. En la medida que se desarrolla y crece la economía, aumenta la demanda por sistemas de bombeo.

Dado que los consumidores de bombas están prefiriendo sistemas más económicos de bombeo, las grandes compañías se han visto obligadas a redistribuir o cerrar algunas de sus instalaciones. Tomando interés en países con bajos costos de manufactura como China, India, México, y Europa del Este.

Dado el extenso número de industrias en el escenario internacional se destacan 9 empresas importantes en el rubro [160], Tabla 6.21.

Tabla 6. 21. Algunas empresas fabricantes de bombas destacadas por su captación de mercado

Empresa	Procedencia	Presencia
ITT	EE.UU.	Instalaciones: EE.UU., Brasil, México.
Ebara	Japón	Instalaciones: Japón, Tailandia, Reino de Bahréin, Taiwán. Subsidiarios y compañías asociadas en: EE.UU. , Brasil, Italia, España, UAE, Alemania, Australia, China, Indonesia, Corea, Malasia, Filipinas, Vietnam.
Grundfos	Dinamarca	Manufactura y ensamble: EE.UU. Reino Unido, Francia, Suiza, Italia, Alemania, Finlandia, Taiwán, China, Brasil. Presencia de venta en más de 40 países, incluyendo Chile.
Flowserve	EE.UU.	Manufactura: Chile, Brasil, Venezuela, México, EE.UU., Canadá, Reino Unido, España, Italia, India, Australia, Japón y otros.
Sulzer	Suiza	Manufactura en: Brasil, China, Finlandia, Francia, Alemania, India, Irlanda, México, Corea, Sud África, España, Suecia, Reino Unido, EE.UU.
Weir	Reino Unido	Manufactura: Presencia en 70 países incluyendo Chile, Perú, Brasil, Venezuela, México, Sud África, Francia, Reino Unido, EE.UU., Dinamarca
KSB	Alemania	Producción, ventas y agentes en más de 100 países. Producción en: China, Brasil, UAE, Sud África, México, EE.UU., Alemania.
Wilo AG	Alemania	Producción en: Alemania, Francia, Italia, Reino Unido, EE.UU., China, Corea, India.
Roper Industries	EE.UU.	Producción: EE.UU.

Fuente: [160] R. Reidy

6.4.3. Industria Nacional de Bombas

El mercado nacional es influenciado en gran medida por los principales actores internacionales, algunas con plantas de producción en el territorio nacional, pero en su mayoría ofrecen servicios de mantenimiento más que de manufactura. Las importaciones de bombas para el año 2014 llegaron a más de 124,6 Millones de USD. También se observan algunos productores nacionales.

A nivel nacional destacan algunas empresas manufactureras de bombas, usualmente orientadas a aplicaciones mineras, Tabla 6.22. En especial destaca “Neptuno Pumps”, una de las pocas empresas en la región con banco de pruebas certificado por la ISO 9906, recientemente galardonada en Inglaterra por su proyecto de innovación en la minera Pelambres, evitando la necesidad de cambiar sus cañerías para aumentar el caudal de sus fluidos de trabajo. Sin embargo, al buscar bombas manufactureras en Chile que operen a elevadas temperatura no se pudo encontrar proveedor alguno. Se observa que en la medida que aumenta la temperatura del fluido se eleva la probabilidad de cavitación. Así las bombas operando a elevadas temperatura requieren de un detallado proceso de diseño y manufactura, a modo de reducir la ocurrencia del fenómeno de cavitación. Técnicas que no se han apreciado en el mercado local, limitando la instalación de bombas autoctonas a la región de operación a baja temperatura.

Tabla 6. 22. Proveedores de bombas a nivel nacional

Empresa	Trayectoria y Productos	
KSB	Trabajando en Chile desde los 60's, instala fábrica importante 1997.	
	Con producción de • Válvulas	• Actuadores • Bombas
Flowserve	Instalaciones en Antofagasta y Renca/Santiago. Con producción de:	
	• Bombas anticorrosivas • Bombas centrífugas	• Bombas sumergibles
Weir	Base de operaciones para Weir América Latina y Weir Minerals Chile. Cuenta con fundición y manejo de gomas, convirtiéndola en una de las estaciones más productivas y diversas de Weir Minerals en el mundo	
	• Bombas centrífugas para lodos • Bombas de lodo • Hidrociclones • Bombas químicas verticales	• Bombas de turbinas verticales • Válvulas de lodo • Bombas químicas verticales • Recubrimientos resistentes al desgaste.
FL Smidth	Industria dedicada a dar asistencia a la minería de distintos materiales. Sus primeros trabajos en Chile, fueron equipos para Cementos Melón durante la primera guerra mundial. Actualmente produce para la minería:	
	• Bombas y válvulas • Espesadores • Flotación	• Pyro-procesamiento • Filtros • entre otros
Vogt	• Bombas verticales, horizontales, flotantes.	Instalada en 1954, con sedes en Santiago, Concepción, Antofagasta, Puerto Montt, Copiapó y Lima/Perú. Generan bombas acorde a normas DIN24255. Equipo para modelar y fabricar las piezas en cada sucursal. Asociado con Grundfos para la comercialización de bombas CR verticales resistentes hasta 180°C.

Tabla 6. 23. Proveedores de bombas a nivel nacional. Continuación Tabla 6.22.

Empresa	Trayectoria y Productos	
Neptuno Pumps	Industria con 40 años de experiencia, es la primera instalación latino americana en unirse al Hydraulic Institute. Cuenta con Instalaciones en Iquique, con capacidad de imprimir en 3D, fundición, y utilizar diversos materiales. Para atender:	
	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas verticales • Bombas horizontales 	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas flotantes • Bombas de succión
ITT	Instalaciones en Antofagasta y Santiago. Utiliza un centro de trabajo en EE.UU. para atender:	
	<ul style="list-style-type: none"> • Bombas • Válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de Control

6.5. Válvulas

6.5.1. Caracterización de válvulas para control de fluido

Las válvulas para fluidos se seleccionan para regular altura de fluidos, la presión, caudales y temperaturas de proceso. Se caracterizan de acuerdo a la posición del elemento de control y el flujo correspondiente.

Se debe considerar que los caudales varían en función de las presiones, así se realizan mediciones para la variación de caudal en función de la apertura de válvula, a saltos equivalentes de presión, para caracterizar la válvula. Así se confeccionan gráficos con familias de curvas como las indicadas en la Figura 6.5.

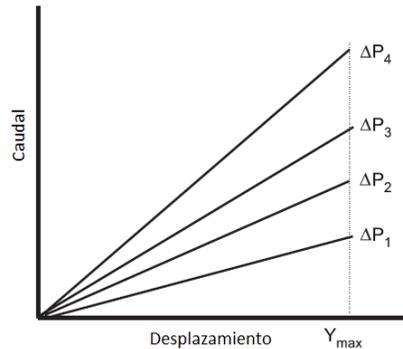


Figura 6. 5 Familia de curvas[132]

Las bombas suelen ser caracterizadas en base a caídas de presión, con saltos de presión constantes, sin embargo, es raro que existan sistemas con variaciones constantes de presión en la medida que se abre una válvula. Como se observa en la Figura 6.6, donde si el salto de presión fuera constante se requeriría abrir la válvula desde Y_1 hasta X para pasar del caudal Q_1 al caudal Q_2 , pero dada la variación en el salto de presión solo hace falta abrir la válvula hasta Y_2 .

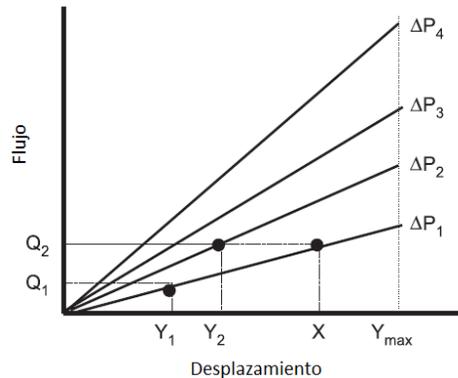


Figura 6. 6. Ilustración referente a variaciones de presión con el aumento de caudal [132]

Para la selección de la válvula y sistema de control a utilizar se debe comprender las características más relevantes del sistema.

- **Nivel de Fluido:** Si la caída en presión es constante, la válvula debiera presentar una operación lineal. Por otro lado para caídas de presión variables se recomienda:
 - Usar válvulas equi-porcentuales si la caída de caudal máximo es menos del 20% del caudal mínimo. Así en la medida cambia la carga, las variaciones en la ganancia de la válvula disminuyen.
 - Usar válvulas de apertura rápida si la caída de presión a bajo caudal es el doble que a alto caudal. De esta forma se nivelan las grandes caídas de presión a altos caudales.

- **Presión:** Los procesos que requieren un control de la presión en el tiempo pueden ser lentos (grandes volúmenes, receptores o largas líneas de distribución) o rápidos (fluido en una cañería). De la misma forma que para el control de niveles, se sugiere la utilización de válvulas lineales para procesos lentos con caídas de presión constantes. Si la caída de presión a máximo caudal es menos de 20% de la caída del caudal mínimo, se sugiere utilizar válvulas de equi-porcentaje.

- **Control de Caudal:** Controlar el caudal presenta desafíos adicionales en el sentido de que el caudal no se altera con variaciones en la carga de procesos. Una variación en la carga de proceso suele acarrear un cambio de presión. Por lo cual el caudal se suele definir a un flujo objetivo.
 Los instrumentos de medición entregan señales proporcionales al caudal o proporcionales al cuadrado del caudal. Así la selección de válvula depende de la señal enviada al actuador y de si la válvula será utilizada en serie o como bypass.

- **Temperatura:** Para válvulas controladoras de temperatura la constante de tiempo suele ser grande y la frecuencia característica del sistema cambia con las cargas de trabajo. Las plantas químicas y refinerías han encontrado que la mejor alternativa para estas situaciones es utilizar válvulas equi-porcentuales.

Tabla 6. 24. Resumen Caracterización de las válvulas y cuando utilizarlas

Resumen				
Control Nivel de fluido	ΔP de la válvula		Característica	
	Constante		Lineal	
	$\Delta P_{Q\ MAX} < 0,2\Delta P_{Q\ MIN}$		Equi Porcentual	
		$\Delta P_{Q\ MAX} > 2,0\Delta P_{Q\ MIN}$		Apertura Rápida
Control de Presión	Proceso	ΔP de la válvula	Característica	
	Rápido	Cualquiera	Equi porcentual	
	Lento	$\Delta P_{Q\ MAX} > 2,0\Delta P_{Q\ MIN}$		Lineal
$\Delta P_{Q\ MAX} < 0,2\Delta P_{Q\ MIN}$		Equi Porcentual		
Control de Caudal	Señal	Posición de la válvula	Característica si cambia el caudal objetivo	Característica si cambia la carga
	Proporcional al caudal Q	Serie	Lineal	Equi Porcentual
		Bypass	Lineal	Equi Porcentual
	Proporcional al caudal cuadrado, Q^2	Serie	Lineal	Equi Porcentual
Bypass		Equi Porcentual	Equi Porcentual	

Fuente: [132] Michael C. Headley.

6.5.2. Materiales

En su proyecto de grado, Linda Almström y Camilla Söderström [133] describen que la selección de materiales sobre los cuales se fabrica la válvula o bomba depende fuertemente de las condiciones ambientales a las cuales será expuesto el elemento. Esto limita la selección de materiales a modo de que sean capaces de soportar las presiones, desgastes, corrosiones y temperaturas a las cuales serán expuestas.

Para limitar la corrosión se recomienda seleccionar materiales que no interactúen química o electroquímicamente con el fluido de trabajo, junto con evitar situaciones de cavitación. También se debe considerar que el aumento en temperatura facilita la corrosión, por lo cual se sugiere utilizar materiales que generen superficies oxidadas de baja permeabilidad al fluido de trabajo, sugiriendo materiales aleantes como cromo, aluminio, silicio y níquel. Y en caso de acorazar para elevadas exigencias se recomienda utilizar trióxidos de cromo, ácido bórico, cloruro de níquel, sulfato de níquel y carbonato de níquel.

Al trabajar a elevadas temperaturas el creep toma especial importancia, por lo cual se debe seleccionar materiales resistentes al creep y renovar la válvula oportunamente.

6.5.3. Proceso de manufactura para válvulas

Los procesos de fabricación de válvulas están dividido entre manufactura por forja y por fundición. En el proceso de fundición el metal es derretido y vertido en moldes que le dan la geometría deseada, mientras que en el caso de forja lingotes de metal son deformados por medio de adición de energía térmica y mecánica hasta alcanzar la geometría deseada. La industria toma preferencia por el proceso de fundición.

Las válvulas fabricadas por fundición pasan por el proceso inicial de ser fundidas y vertidas en moldes, pero los procesos posteriores dependen de los requerimientos de cada válvula. Se puede dar que alguna válvula requiera algún procedimiento adicional que otra no requiere, o que por los materiales a utilizar una válvula requiera incluir fluidos de corte durante el maquinado de materiales duros, como acero inoxidable, mientras que otros materiales no lo necesitan, como es el caso de las válvulas de cobre.

La industria de válvulas por fundición ha optado por enfocarse en el maquinado de las piezas, externalizando el proceso de fundición y modelado.

Los principales procesos empleados en la industria, presentados en las Figuras 6.7 y 6.8, son:

- **Fundición:** Es el procedimiento en que el metal es derretido para luego ser vertido en los moldes. Durante el proceso algunos materiales aleantes se pierden por emisión al aire o desechados en los desperdicios y material para reciclaje.
- **Colada:** El proceso de colada incluye el modelado, modelado del núcleo, inserciones, ensamble del molde, vertido y agitado. Corresponde al proceso más importante en la línea de fabricación.
- **Acorazar:** Es el procedimiento empleado para aumentar la resistencia a la corrosión de la superficie de las válvulas. Suele emplear níquel o cromo.

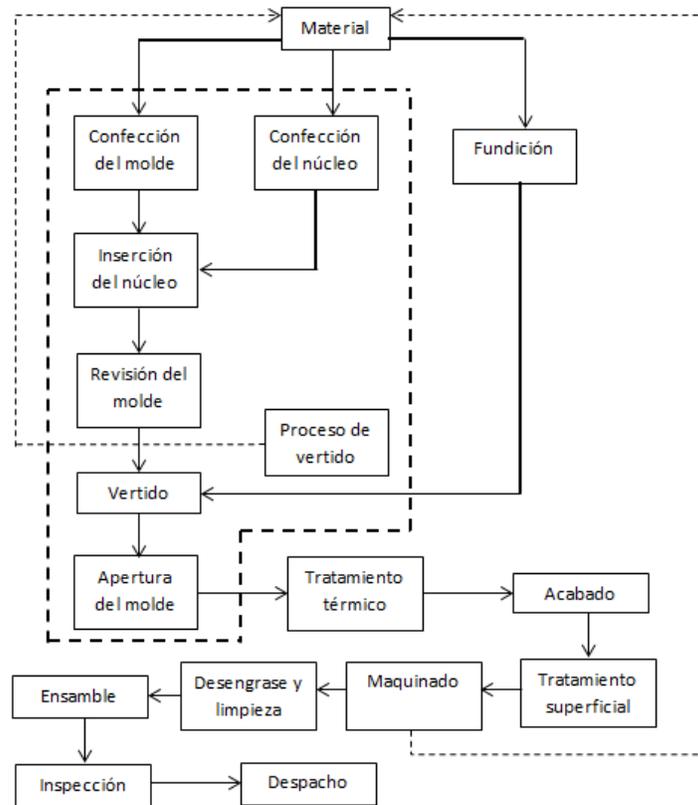


Figura 6. 7. Proceso de manufactura para válvulas simples, por fundición.

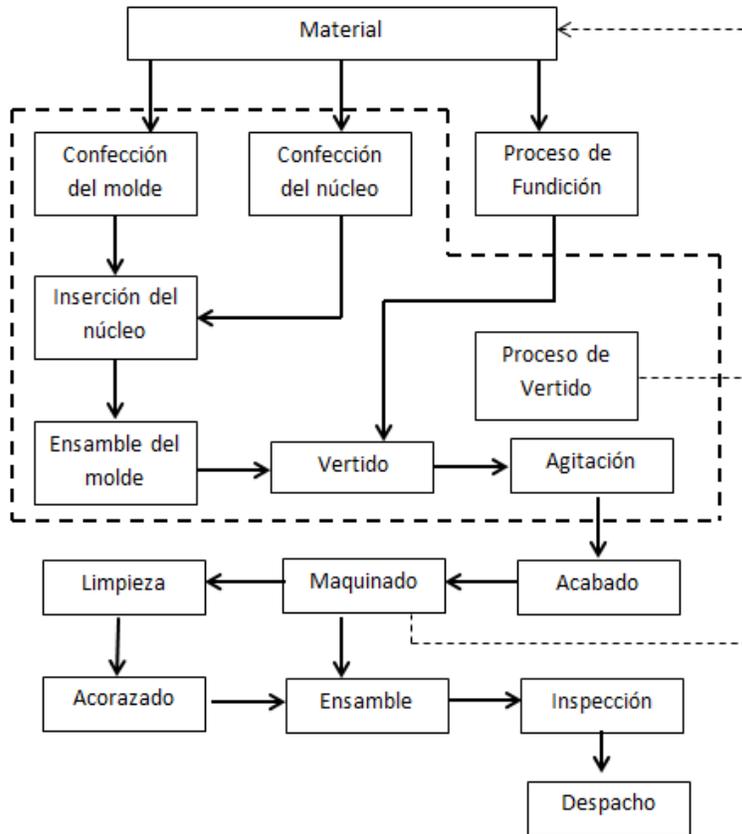


Figura 6. 8. Proceso de manufactura para una válvula acorazada.

6.5.4. Mercado Internacional de Válvulas

Hay un gran número de empresas dedicadas al rubro de tratar, mover y controlar fluidos líquidos y gaseosos, con un mercado de ventas a nivel mundial de más de 380 Billones de USD. Muchas fábricas que fabrican bombas también fabrican válvulas, por lo cual estos mercados suelen presentarse de forma integrada. El mercado suele dividirse en dos segmentos:

- Industrial: Incluye las aplicaciones militares, energéticas y de gran capacidad.
- Residencial/al consumidor/comercial: Incluye puntos de entrada y puntos de salida de agua. Junto con aplicaciones especiales como piscinas y refrigeradores.

Desde dicha distinción se observa en la Figura 6.9, como los requerimientos industriales en el mercado internacional toman especial importancia, con mayor interés en controladores para líquidos que gases, generando una fuerte relación entre mercado de bombas y compresores.

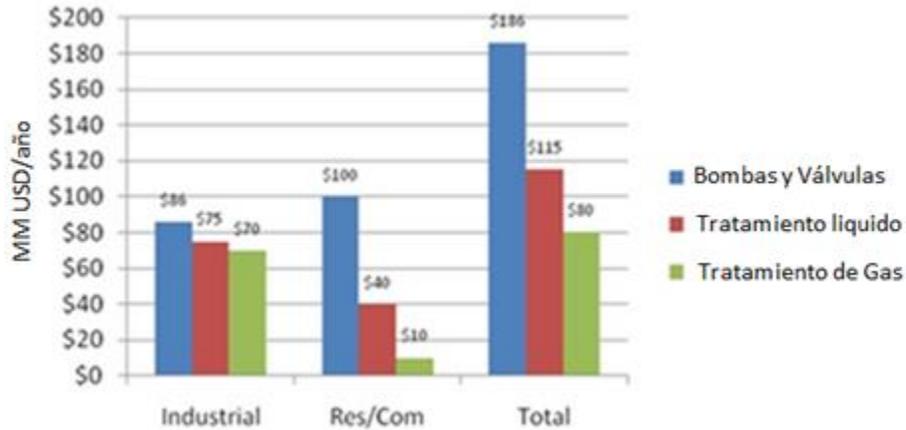


Figura 6. 9. Distribución mercado internacional en tratamiento y control de fluidos, MM USD/año [134]

Miles de compañías participan en el mercado de válvulas, pero destacan 30 grandes empresas que controlan el 15% del Mercado global. Las más grandes de dichas empresas son presentadas en la Figura 6.10.

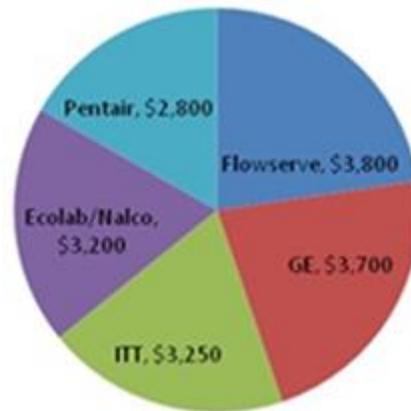


Figura 6. 10. Cinco mayores empresas referidas en el tratamiento de fluidos y control. MM USD/año[134]

En las Tablas 6.25 y 6.26 se presentan 18 empresas bien posicionadas en el mercado de control de fluidos y como segregan sus operaciones.

Tabla 6. 25. Ingresos de las principales firmas en el rubro de control de fluidos.

Empresa	Bombas y Válvulas	Tratamiento de líquidos	Tratamiento de aire o Gases	Total
Alstom	50		400	450
Babcock & Wilcox		100	500	600
BASF		2.100	600	2.700
Clarcor		800	200	1.000
Donaldson		1.600	400	2.000
DOW	100	1.300	100	1.500

Tabla 6. 26. Ingresos de las principales firmas en el rubro de control de fluidos. Continuación Tabla 6.25.

Empresa	Bombas y Válvulas	Tratamiento de líquidos	Tratamiento de aire o Gases	Total
Emerson	1.200	200	200	1.600
Flowserve	3.400	400		3.800
GE	900	2.400	400	3.700
Grundfos	1.900			1.900
ITT	2.900	350	0	3.250
KSB	2.100	40		2.140
Pall		2.600	200	2.800
Pentair	800	2.000	0	2.800
Siemens		2.000	400	2.400
Sulzer	2.000	30	50	2.080
Tyco	2.300		30	2.330

Fuente: [134] The McIlvaine Company

Se espera un crecimiento en el mercado debido a:

- Desplazamiento de población de zona rural a urbana.
- Demanda por agua limpia y aire.
- Alto niveles de contaminación ambiental.
- Requerimiento de fluidos limpios para industrias de nanotecnológicas, biocombustibles y otras tecnologías.
- Aumento en utilización de plantas desalinizadoras.
- Desarrollo de centrales de potencia de quema eficiente de carbón.
- Necesidad de lubricación para turbinas eólicas.
- Desarrollo de sistemas en purificación de piscinas en Asia.

Se identifican las principales industrias, sus bases y países de operación.

Tabla 6. 27. Grandes Instituciones en el mercado del control de fluidos Internacional

Industria	Origen	Operaciones
Emerson	EE.UU.	Manufactura: EE.UU., Canadá, Argentina, Brasil, Colombia, México, Venezuela, 60 locaciones en Europa occidental, Rusia, Medio Oriente y África, Hong Kong, China, India, Japón, Corea del Sur, Indonesia, Taiwán, Singapur.
ITT	EE.UU.	Instalaciones: EE.UU., Brasil, México
Grundfos	Dinamarca	Manufactura y ensamble: EE.UU. Reino Unido, Francia, Suiza, Italia, Alemania, Finlandia, Taiwán, China, Brasil. Presencia de venta en más de 40 países, incluyendo Chile.
KSB	Alemania	Producción, ventas y agentes en más de 100 países. Producción en: China, Brasil, UAE, Sud África, México, EE.UU., Alemania.
Pentair	Suecia	Manufactura: China, Arabia Saudita, EE.UU. Brasil, Reino Unido, India, Indonesia, Australia.

Tabla 6. 28. Grandes Instituciones en el mercado del control de fluidos Internacional. Continuación Tabla 6.27

Empresa	Origen	Operaciones
Tyco	Suiza	Presencia en 50 países, entre los que se cuenta: EE.UU., Canadá, México, Colombia, Brasil, Argentina, Puerto Rico, España, Alemania, Reino Unido, Francia, Italia, UAE, Israel, India, China, Singapur, Australia.
Flowserve	EE.UU.	Manufactura: Chile, Brasil, Venezuela, México, EE.UU., Canadá, Reino Unido, España, Italia, India, Australia, Japón, entre otros.
GE		Más de 140 países, entre los cuales se menciona, Argentina, Brasil, Chile, Canadá, EE.UU. China, Japón, Corea del Sur, Taiwán, Australia, Francia, Alemania, Reino Unido, España.
Sulzer	Suiza	Manufactura en: Brasil, China, Finlandia, Francia, Alemania, India, Irlanda, México, Corea, Sud África, España, Suecia, Reino Unido, EE.UU.

6.5.5. Industria Nacional de Válvulas

A nivel nacional destacan unas cuantas industrias fabricantes o comerciantes de válvulas, descritas en la Tabla 6.29. Observando una fuerte importación de componentes, llegando a importar 13.5 MMUSD en equipos de control de presión en los primeros tres trimestres 2014.

Tabla 6. 29. Industrias nacionales en el rubro de las válvulas

Empresa	Descripción	Comentarios
Flowserve	Establecida desde el año 2001, Empresa dedicada a la importación de componentes. Cuenta con un pequeño centro de mecanizado en Antofagasta para realizar reparaciones, pero con escasa capacidad manufacturera.	
Talmet	Fundada en 1951, se especializa en la producción de válvulas. Piezas para redes de fluidos y fundición de piezas en distintas aleaciones de Fe dúctil, Fe gris y fundición alto cromo. Cuenta con dos fábricas en la ciudad de Santiago, con 14.000 m ² de instalaciones para fundir y fabricar piezas de válvulas.	
Válvulas Chile	Fábrica nacional dedicada a la producción de válvulas de uso industrial. Sus productos regulares resisten una temperatura máxima de 150°C, pero puede importar materiales para aumentar dicha tolerancia.	
KSB	Filial de la empresa Alemana, ofrece servicios de diseño de proyectos, adaptación de bombas especiales, junto con diseño y producción de sistemas a medida. Presenta sucursales en Iquique, Antofagasta, Copiapó, San Bernardo, Concepción y Temuco. Donde Santiago cuenta con la línea de producción completa. Dado el crecimiento de la empresa recientemente abrió su centro de válvulas. Cuenta con experiencia y capacidad para fabricar válvulas resistentes hasta más de 500°C	

6.6. Análisis FODA y resumen de la sección referente a componentes del Sistema Fresnel.

La gran presencia de proveedores en el mercado internacional para componentes como Bombas, Válvulas, intercambiadores de calor y estanques de almacenamiento. Destacando que la manufactura nacional para cada uno de los componentes. Sin embargo destaca la dificultad para producir bombas capaces de soportar elevadas temperaturas.

Se mencionó la posición estratégica del país respecto a depósitos de sales solares, colocando a la nación como el principal proveedor a nivel mundial del recurso. Pero las sales solo operan para temperaturas mayores a su punto de fusión (> 300 °C). Un buen método de almacenamiento es utilizar agua presurizada. El agua en la región de atacama tiene un precio estimado en 1.USD/m³, menos de un milésimo del costo de las sales solares. El verdadero costo asociado a utilizar agua como medio de almacenamiento es el de contenerlo en vasijas de acero, de 22 mm de espesor para 14 Bar.

Se observa una fuerte relación entre la manufactura de estanques de almacenamiento e intercambiadores de calor, repitiéndose algunas de las instituciones que trabajan cada producto. Se presenta que incluso instituciones dedicadas a fabricar estructuras metálicas podrían desarrollar los componentes del sistema. Por otro lado, se encontraron unos cuantos fabricantes de válvulas en el territorio nacional, sin embargo sus materiales tradicionales les permiten trabajar tan solo hasta 150°C, requiriendo importar materiales especializados para ampliar el rango de operación.

A continuación se presenta el análisis FODA, referente a la capacidad nacional para producir los componentes del sistema asociado a la correcta operación del colector.

Tabla 6. 30. FODA para equipos y elementos complementarios como bombas, intercambiadores de calor, válvulas, fluidos térmicos y almacenamiento térmico

Fortalezas	Debilidades
Mayor reserva mundial de nitratos de sodio, potasio y sales solares de almacenamiento.	Necesidad de importar mayor parte de la materia prima para confección HTF.
Instalaciones de refinación petroquímica facilita producción del fluido de transferencia térmica.	Necesidad de importar metales para la confección de bombas, válvulas e intercambiadores para alta temperaturas de operación.
Existencia de industrias con necesidad de bombeo y control de flujo como minería y celulosa, entre otras.	Requerimiento de supervisión internacional para diseños de bombas. Principales empresas filiales de grandes internacionales.
Fuerte presencia de un mercado en necesidad de intercambiadores de calor como minería, pesquera, celulosa, centrales térmicas de potencia, lechería, industria vinícola, etc.	
Oportunidades	Amenazas
Ciclo virtuoso en la generación de energía limpia y el procesamiento de sales fundidas por medio de piscinas de acumulación solar.	Desarrollo de nuevas tecnologías para el almacenamiento térmico, limitando la utilización de sales fundidas.
Empresas que buscan potenciar su posición en mercados internacionales, como TPI, pueden buscar imponerse en el mercado de tecnología solar.	Mayor variedad de productos en el mercado de HTF internacional.
Aumentar la actualmente limitada producción de fluidos térmicos.	Fuerte competencia en el mercado internacional de bombas e intercambiadores.
	Uso limitado de HTF fuera del mercado solar, grandes inversiones para aumentar capacidad productiva podrían no ser justificadas.

7. Análisis Económico

7.1. Modelo de Negocios

En el mercado de energías renovables, y generación por tecnología CSP se suele emplear uno de dos tipos de contratos:

- **Llave en mano:** La operación de los equipos corre por parte del contratista hasta que se acabe el horizonte de trabajo del proyecto.
- **IPP:** ya sea como asociación o como concesión con el cliente. La planta pasa a ser propiedad del desarrollador por el plazo que dura el contrato y es considerada como garantía, junto con los derechos de cobro por venta de energía.

En Chile se encontraron dos empresas que trabajan proyectos ERNC, Abengoa Solar y Energía Industrial S.A. EISA. Cada cual con su propio modelo de negocios:

- **Venta de energía térmica:** EISA, instala y maneja los equipos necesarios para producir energía térmica, luego vende el recurso al cliente correspondiente.
- **Diseñar y construir plantas comerciales:** Abengoa Solar aprovechan el desarrollo de nuevas tecnologías para generar infraestructuras de tipo concesional y de actividades de producción industrial. Abengoa suele operar sus propias plantas luego de instalarlas.

Al considerar la demanda, la empresa Aiguasol encontró una demanda térmica de 14.768.362 MWh, estimando la utilización de 5.966.633 m² de superficie potencial. Con mayor demanda en la 2da, 5ta, RM y 8va región, demandas que van entre los 1.500.000 y 4.200.200 MW_t.

7.2. Condiciones y costos de la mano de obra en Chile

Al comparar los costos de la mano de obra en Chile con los marcadores en el mundo y América Latina, Chile destaca con elevado costo en la mano de obra de alta calificación, atrayendo el interés de dichos trabajadores en el entorno. Sin embargo, presenta menores costos para mano de obra especializada que países con experiencia en tecnología CSP. Se observa que los costos de mano de obra también resultan menores que en países con fuerte inversión en tecnologías CSP.

Tabla 7. 1. Costo mano de obra en Chile respecto a su entorno y al mundo

Comparación	Poder adquisitivo individual	Poder adquisitivo familiar	Línea de pobreza	Sueldo mínimo rango inferior	Costo de vida, rango inferior
Chile en relación al mundo	Posición 21, 29 Euros	Posición 41, 111 Euros	Posición 30, 97 Euros	Posición 19 305 Euros	Posición 15, 248 Euros
Chile en relación a Latinoamérica	Posición 3	Posición 7	Posición 7	Posición 3	Posición 3

Tabla 7. 2. Costo mano de obra en Chile respecto a su entorno y al mundo. Continuación Tabla 7.1.

Comparación	Costo de vida, rango superior	Costo de vida familiar	Sueldo mano de obra baja calificación	Sueldo mano de obra media calificación	Sueldo mano de obra alta calificación
Chile en relación al mundo	Posición 18, 317 Euros	Posición 14, 368-481 Euros	Posición 16,17 246-587 Euros	Posición 20,21 412-994 Euros	Posición 14 a 15 906-2.338 Euros
Chile en Latino América	Posición 4	Posición 3	Posición 3-4	Posición 2-3	Posición 1

Fuente: [135] Wageindicator organization

Por la característica industrial, y el ambiente tentativo de trabajo se observa una fuerte similitud con las condiciones de trabajos en proyectos mineros. Se aprovecha el estudio realizado por CBC donde compara los costos de mano de obra para 25 contratos en proyectos mineros. Presentando estimación de costos en las Tablas 7.3 y 7.4. normalizadas al año 2014.

Tabla 7. 3. Costo por cargo

Cargo	Costo/mes	Cargo	Costo/mes
Capataz	1.139.950	Jefe Eléctrico	1.794.121
Maestro mayor	1.044.807	Jefe Mecánico	2.192.788
Maestro 1ra	897.240	Superintendente OOC	2.200.738
Maestro 2da	759.285	Superintendente Montajes	1.817.351
Ayudante	646.879	Jefe HSEQ	2.382.887
Alarife	730.729	Jefe de Prevención	2.180.218
Rigger	867.413	Jefe de Calidad	1.794.547
Operador Equipo Liviano	1.005.065	Prevencionista A	1.813.328
Operador Camión	1.020.206	Prevencionista B	1.431.514
Operador Equipo Pesado	1.361.990	Encargado de Medio Ambiente	1.491.235
Soldador	1.618.387	Ingeniero de Calidad	1.816.704
Oxigenista	1.201.100	Jefe Administrativo	1.641.124
Gte/Adm. De Contrato	3.879.451	Ing. Compras/Subcont	1.197.596
Jefe de Terreno	2.981.382	Encargado Contabilidad	1.326.740
Jefe Of. Técnica	2.609.624	Encargado de Servicios	1.786.001
Jefe Contrato de Gestión	2.258.626	Encargado de Personal	1.303.739
Ing. Programador	1.505.998	Campamento	789.973
Ing. Control de Gestión	1.315.204	Encargado RRLL	1.487.398
Secretario Técnico	830.046	Jefe de Bodega	1.165.674
Topógrafo	1.263.195	Bodeguero	659.722
Nivelador	695.559	Pañolero	631.766
Jefe de Ingeniería	3.320.674	Asistente/Pasatiempo	630.003

Tabla 7. 4. Costo por cargo. Continuación Tabla 7.3.

Cargo	Costo/mes	Cargo	Costo/mes
Dibujante	1.107.440	Chofer	636.504
Control de Doctos.	779087	Junior	487.660
Jefe OCCC	2.082.499		

Fuente: [136] CBC. 2012

Para estimar los costos en personal que requerirá el proyecto se puede aprovechar la tabla presentada por en el mismo estudio realizado por CBC.

Tabla 7. 5. Costos y recursos requeridos por trabajo

Partida	UN.	HH/UN	HM/UN	CLP/UN
Escarpe	m ³	0,10	0,14	5.334
Excavación Masiva Común	m ³	0,06	0,08	2.257
Excavación Masiva Roca	m ³	0,75	1,00	21.205
Excavación Estructural Suelo Común	m ³	0,34	0,27	4.635
Excavación Estructural Roca	m ³	0,82	0,75	33.056
Relleno Compacto Seleccionado	m ³	1,07	0,08	11.607
Relleno Compacto Material de Excavación	m ³	0,72	0,07	7.673
Relleno Estructural Seleccionado	m ³	0,27	0,28	6.969
Preparación de Superficie	m ²	0,01	0,01	278
Hormigón H10 Emplantillado	m ³	8,67	-	51.795
Hormigón H30	m ³	7,00	-	196.948
Acero	Kg	0,09	-	1.403
Moldajes	m ²	3,58	0,05	43.894
Pernos de Anclaje	Kg	1,50	-	5.301
Estructura Liviana (<30 kg/m²)	Ton	150,00	-	-
Estructura Media (>30 kg/m², <60 kg/m²)	Ton	70,00	-	-
Estructura Pesada (>60 kg/m², <90 kg/m²)	Ton	63,55	0.01	1.892
Estructura Súper Pesada (>90 kg/m²)	Ton	25,00	-	-
Estructura Miscelánea	Ton	250,00	-	-
Cañería 200 mm	m	0,84	0,18	14.050

Fuente: [136] CBC. 2012

7.3. Experiencia alrededor del mundo

Examinar la situación de instalaciones de concentración alrededor del mundo permite comprender como operaron los países líderes en la tecnología cuando comenzaron sus avances de estas tecnologías [103]:

- **EE.UU:** Finales del año 2010 y principios del 2011, el Gobierno de los Estados Unidos ofreció un préstamo en garantía a Abengoa para la construcción de una planta de 260 MWe, utilizando tecnología de concentración solar en el desierto de Arizona. La única condición que requirió el Gobierno Norte Americano fue la de utilizar el

máximo de componentes nacionales posibles, levantando la porción local en componentes utilizados hasta 70%.

- **España:** Para la primera planta comercial, instalada en 2006, los productores nacionales cubrieron menos del 50% de los componentes requeridos. Cuatro años después son capaces de suministrar hasta el 75% de las necesidades de la planta.
- **China:** La nación asiática ha logrado aumentar la utilización de componentes producidos en forma local. Las reformas para el desarrollo nacional exigen a las plantas eólicas incorporar un 70% de componentes fabricados localmente. Las reformas son removidas en la medida que se instalen empresas nacionales competitivas en el escenario internacional.
- **Egipto:** Cerca al 60% de la instalación de la cadena de valor corresponde a productos nacionales. Los trabajos civiles, el montaje estructural, cañerías, ingeniería, adquisición y construcción (supervisado por Fichtner Solar y Flagsol), la operación y utilización es nacional. Sin embargo, algunos componentes requirieron ser importados (espejos, receptor, fluido térmico). Se está priorizando los proyectos que aprovechen la producción nacional.
- **Marruecos:** Todos los componentes principales y equipos para el proyecto son importados desde productores en el mercado internacional. La baja incorporación de productos nacionales en el primer proyecto limita la transferencia tecnológica. Los productores internacionales de componentes llevan sus primeras incorporaciones a Medio Oriente y el Norte de África por medio del proyecto Marroquí.
- **Argelia:** Hasta el 90% de los componentes y equipos son importados, sin incorporar producción nacional en el campo solar. Los costos de trabajos civiles en Argelia resultan hasta 30% más costosos que en España. Incluso contando con Know-How para el desarrollo de proyectos energéticos convencionales, la ingeniería, adquisición y construcción siempre resulta en un contratista internacional. La empresa nacional Sarpi entregó el equipo eléctrico para el proyecto. La compañía nacional Algesco realizará las mantenciones de la turbina durante la operación, con la operación y mantenimiento llevada a cabo por Abener. Incluso estando capacitada para la producción de componentes y servicios de bajo nivel técnico se ha optado por proveedores internacionales.

El bajo aporte en los proyectos Marroquíes y Argelinos se explica con el objetivo principal de los proyectos de entregar proyectos ISCCS (Integrated Solar Combined Cycle Steam) funcionales, con cortos plazos de entrega y no desarrollar la industria local.

La instalación de plantas manufactureras lleva a la generación de nuevos empleos. La Tabla 7.5 describe la experiencia de otras naciones al incorporar distintas instalaciones en su mercado manufacturero, destacando la elevada inversión requerida para instalar plantas que confeccionen receptores, la relativamente baja inversión para fabricar colectores y el gran número de empleos generados con la fabricación de espejos.

Tabla 7. 6. Inversión y generación de empleo según instalaciones para la fabricación de componentes CSP

Componentes	Salida en potencia por instalación [MW/año]	Inversión para la instalación [MUSD]	Empleos por instalación	Trabajos generados [Trabajo/MW]
Receptor	200-400	45,34	140	0,3-0,7
Espejos	200-400	34,00	300	0,7-1,5
Estructura	50-200	11,34	70	0,3-0,5
HTF	Muy Alto	---	----	

Fuente: [102] Ernst & Young et Associés, Fraunhofer

7.4. Análisis FODA

En el caso de Chile se ha logrado observar las siguientes fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas a ser consideradas en la producción de componentes para los sistemas de concentración Fresnel en general, características presentadas en la Tabla 7.7, y 7.8.

Tabla 7. 7. Análisis FODA General

Fortalezas	Debilidades
El mejor recurso solar en el mundo (en el desierto de Atacama)	Mano de obra relativamente costosa, en especial para la de elevadas calificaciones.
Crecimiento del PIB de entre 4 y 26% entre 2009 y 2013.	Elevados costos de capital.
Potencial de trabajos siderúrgicos ociosos desde 2014.	Carencia de programas de entrenamiento en tecnologías renovables.
Línea de vidrio por flotación en el sur del país, exento del 6% de impuesto adicional a importaciones.	Brecha en infraestructura e incerteza de apoyo de empresas para Investigación y Desarrollo. Principal apoyo proveniente de Minerías y Corfo
Actual desarrollo de planta termo-solar de torre central en Cerro Dominador, planta de cilindros parabólicos en minera “Tesoro”.	Baja producción nacional de acero.
Mayor reserva de nitratos de sodio y potasio en el mundo, con derechos de explotación hasta 2030.	Distancia geográfica, para la importación de componentes desde Europa o Asia.
Instalaciones para preparar fluido térmico en Quinteros, en el centro del país.	Bancos reservados cuando evalúan pequeños y medianos proyectos.
Presencia de industrias suplidoras de equipos de bombeo, control de flujo e intercambio térmico.	Liberación de impuestos para energía solar térmica expiró el 2013.
Legislación exige a proveedores de más de 200 MWe utilizar 20% de ERNC en su inyección eléctrica anual. Ley 20698 art 1. N° 1. 22/10/2013.	Poca experiencia en el desarrollo de instituciones para el desarrollo de técnicos.
Apoyo desde Alemania en la profundización de competencias, capacidad y conocimientos tecnológicos. Fomento de herramientas para aplicaciones de la energía solar.	Ambiente con gran concentración de polvo y vientos capaces de alcanzar hasta 100Km/h. Ambiente abrasivo y con necesidad de aseo continuo.

Tabla 7. 8. Análisis FODA General. Continuación Tabla 7.7.

Fortalezas	Debilidades
Acceso a financiamiento crediticio en el Banco de Desarrollo para instalación de plantas comerciales.	Fuertes cambios de temperatura entre el día y la noche. Aumenta tendencia a falla en los componentes.
Facilidad de la tecnología para colocarse en posición de resguardo ante grandes ventiscas y por las noches para reducir deposición de polvo.	
Oportunidades	Amenazas
Acceso a fondo comunitario para el desarrollo latinoamericano.	Mercado internacional experimentado y con mayor inversión en investigación.
Reducción continúa en costos y mejoras de eficiencia.	Perdida de precio competitivo frente a otras tecnologías, especialmente PV
Incentivo de liberación de impuestos para la utilización de sistemas calefactores de agua, por fuentes solares está en desarrollo.	Desarrollo de nuevas técnicas para el almacenamiento energético. Especialmente almacenamiento para tecnología PV.
Independencia energética	Competencia con otros países en desarrollo.
Crecimiento en costos de otras tecnologías dado el aumento en precio y demanda de petróleo.	
Objetivo nacional de alcanzar producción nacional de 20% de energía desde fuentes ERNC.	
Tour para banqueros a lo largo de centrales CSP en España, facilita gestión de capital.	
Posicionamiento de diversas consultoras de energía como Aiguasol, Abengoa con el know-how referente a tecnologías solares. Aiguasol incluso cuenta con diseño propio de colectores Fresnel.	
GIZ trabaja en la creación de un centro de entrenamiento y formación técnico profesional para la gestión y mantenimiento de instalaciones solares. Centro referencia para Latino América.	
Atractivo para inversionistas extranjeros.	
Ajustes en legislación española referente a tecnologías CSP lleva a potenciales cambios en el mercado (desplazamiento de profesionales e industrias)	
Generación de un ciclo virtuoso al reducir los costos de la energía nacional y potenciar la industria manufacturera.	
Generación de nuevos empleos.	

7.5. Situación nacional

Como es de esperar, se requiere de un fuerte apoyo por parte de instituciones extranjeras para el desarrollo de la industria nacional, requiriendo transferencia de tecnologías. Ya se detecta presencia de instituciones experimentadas en la instalación de

sistemas CSP, como Abengoa, Aguasol y Bechtel. También destaca el posicionamiento de las nuevas instalaciones de Rioglass en la nación y el apoyo por parte de Alemania con programas como el de desarrollo internacional: “Solar energy for electricity and heat” en Chile.

La cadena de valor actual en Chile presenta las observaciones descritas en la Tabla 7.9.

Tabla 7.9. Factibilidad manufacturera en Chile

Componente	¿Es posible la manufactura local?
Espejos	Si, actualmente con proveedor único pero considera la llegada de un segundo actor. Se debe probar la calidad de los espejos del proveedor actual.
Absorbedor	Tan solo la producción de cañerías para baja temperatura. Incorporación de pinturas de óxido de cromo, por parte de Britec y su contacto en el extranjero Solkote.
Estructura Metálica	Si, completamente autóctona.
Cimientos, fundaciones y lozas	Si, completamente autóctona.
HTF	Si, con requerimiento de importar materias primas a ser procesadas.
Fluido almacenamiento térmico	Si, con gran capacidad productiva.
Intercambiadores de calor	Si, con algunas exportaciones incluso, requiriendo importación de materias primas.
Bombas	Fuerte mercado minero y de celulosa con requerimiento de bombas. Central Weir para Latinoamérica.
Válvulas	Si, con requerimiento de importar metales en caso de requerir temperaturas elevadas o fluidos especiales.

7.6. Estudio de adquisición de equipos de Sputtering

7.6.1. Consideraciones en el proyecto de adquisición de equipos de Sputtering

Se ha observado que una parte fundamental del proyecto va orientada al tema de superficies reflectantes, se estudió que Chile cuenta con líneas de producción de vidrios y recubrimiento de superficies reflectantes con plata. Incluso considerando el cambio de tecnología que llegará a las instalaciones nacionales a mediados de los años 2015-2016, la tecnología aún podría ser mejor, en lugar de realizar deposiciones en forma de rocíos, realizarlas por medio de sputtering. Otra industria interesada en estos procesos es la referente a los observatorios en el norte del país. Así se ha realizado un estudio referente a la incorporación de tres máquinas de sputtering en territorio nacional.

Los equipos de esta categoría son adquiridos por medios de negociaciones, las cuales suelen considerar 40% del pago ante pedido y el 60% restante ante puesta en marcha. Los costos son presentados en la Tabla 7.10.

Tabla 7. 10. Rango de precios para equipos de deposición de sputtering por magnetrón

Maquina	Proveedor	Capacidad	Precio
MSC1250	Von Ardenne	5x10 ⁶ m ² /año	~20.000.000 €
Genérica	Von Ardenne	A pactar	1~10.000.000€
HLW/CJW/SFW	Shanghai Vacuum Technology	15 min/ciclo	30~120.000 USD

El proceso de sputtering requiere el consumo de material objetivo a depositar sobre la superficie de vidrio, en esencia se aprovecha completamente el material objetivo dado el campo magnético que lo dirige hacia la superficie a recubrir. A continuación se presenta una lista de los materiales comúnmente utilizados en la producción de equipos para tecnologías CSP y los precios para dichos objetivos, Tablas 7.11 y 7.12.

Tabla 7. 11. Materiales comúnmente utilizados en la deposición por sputtering para colectores solares

Material	Nombre	Método
Ag	Plata	Rotable/Plana
Aleaciones-Ag	Aleaciones de Plata	Rotable/Plana
Al	Aluminio	Rotable
Cr	Cromo	Plana
Cu	Cobre	Rotable/Plana
Mo	Molibdeno	Rotable/Plana
Si	Silicio	Rotable/Plana
SiAl	Silicio-Aluminio	Rotable
Sn	Lata	Rotable/Plana
Ti	Titanio	Rotable/Plana
W	Tungsteno	Rotable/Plana

Fuente: [137] Heraeus.

Tabla 7. 12. Precio de mercado para materiales depositados por sputtering

Material	Puresa	Densidad	Dimensiones	Precio
Aluminio	99,9995%	2,7 g/cm ³	3"diámetro x 0.125" espesor	461.000 CLP
Cromo	99,95%	7,1 g/cm ³	3"diámetro x 0.125" espesor	571.000 CLP
Cobre	99,95%	8,96 g/cm ³	2"diámetro x 0.25" espesor	202.000 CLP
Silicio	99,999%	2,34 g/cm ³	2"diámetro x 0.25" espesor	315.000 CLP
Titanio	99,995%	4,5 g/cm ³	3"diámetro x 0.125" espesor	623.000 CLP
Plata	99,99%	10,5 g/cm ³	57mm diámetro x 0.1 mm espesor	295.00 USD
Plata	99,99%	10,5 g/cm ³	57mm diámetro x 0.3 mm espesor	480.00 USD

Fuente: [138] Kurt J. Lesker

Otro factor importante en los procesos productivos es la de mano de obra, el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) publicó el año 2008 un compendio con la distribución estadística de sueldos en Chile, Tablas 7.13 y 7.14.

Tabla 7. 13. Sueldos promedio de acuerdo al INE para el año 2008

Actividad	Promedio	Directivos	Profesionales	Técnicos	Oficina
Promedio	487.644	1.804.029	1.060.135	614.402	401.680
Minería	1.441.380	5.420.637	2.518.418	1.448.938	980.392
Manufactura	584.076	2.475.869	1.288.093	893.803	524.944
Electricidad, Gas, Agua	1.361.594	5.113.191	1.848.594	1.019.657	781.442
Construcción	368.194	1.583.599	992.260	538.838	361.172
Comercio	418.826	1.545.991	1.256.614	576.873	367.753
Transporte y comunicación	519.145	1.869.145	1.326.846	682.228	418.154
Otros	460.081	1.701.295	844.603	544.623	373.193

Fuente: [139] INE. 2009

Tabla 7. 14. Sueldos promedio de acuerdo al INE para el año 2008. Continuación Tabla 7.13.

Actividad	Servicio y seguridad	Comercio y mostradores	Trabajadores calificados	Operadores maquinaria y montajes	Trabajadores no calificados
Promedio	230.616	264.768	371.517	377.240	243.952
Minería	397.734	-	1.228.612	1.031.264	489.856
Manufactura	516.146	480.080	383.299	422.500	312.136
Electricidad, Gas, Agua	562.474	228.139	727.034	551.348	475.263
Construcción	253.331	437.027	344.283	379.244	230.658
Comercio	237.328	253.120	321.768	312.234	225.756
Transporte y comunicación	400.633	291.561	500.586	355.846	239.666
Otros	203.074	243.985	297.587	278.189	221.642

Fuente: [139] INE. 2009

Para el proyecto se consideran dos equipos de trabajo, Tablas 7.15 y 7.16., dependiendo de las dimensiones del equipo a adquirir. Con sueldos normalizados al año 2014, considerando una inflación del 17% respecto al año 2008 de 20,429.09 , un valor de 23,960.60 CLP/UF y un cambio de divisas a 580 CLP/USD.

Tabla 7. 15. Equipos de trabajo para los sistemas de deposición por sputtering

Cargo	Cantidad en caso de utilizar equipo de Shanghai Vacuum Technology	Cantidad en caso de utilizar equipo de Von Ardenne
Técnicos/Operadores	5	15
Gerente	1	1
Secretario	1	3
Vendedores	3	10
Consumo eléctrico	44 Kw-h	400 VAC, 50 Hz
Espesor base de Si	100 µm	100 µm
Periodos de estudio	20 años	20 años

Tabla 7. 16. Nomina de sueldos y gasto eléctrico

Cargo	Sueldo
Técnico/Operador	947.431 CLP/Mes
Gerente	2.624.421 CLP/Mes
Secretario	556.441 CLP/Mes
Vendedor	556.441 CLP/Mes
Energía	0,15 USD/Kw-h

Considerando un precio de venta de 40 USD/m², se procedió a realizar un flujo de caja con las partidas descritas en las Tabla 7.17, y 7.18.

Tabla 7. 17. Descripción de confección de un flujo de caja.

Partida	Descripción
+ Ingresos por venta	Ingresos que recibe la institución por vender el material producido o podría representar el ahorro para la misma debido a una inversión que busca disminuir los costos de la institución. Antes de aplicar el IVA.
+ Ingresos por depósito	En caso de que el proyecto obtenga intereses por inversiones financieras, se cargan en esta partida.
+ Otros ingresos	Ingresos adicionales que podría incorporar traer el proyecto, adicionales al ingreso/ahorro objetivo del proyecto.
+/- Ganancia/pérdidas de capital	
- Costos fijos	Costos en los cuales se incurrirá para mantener el proyecto andando, independiente de la demanda.
- Costos Variables	Dependen del volumen de producción.
- Gastos financieros	Pago de intereses por préstamo.
- Depreciaciones legales	En el caso de maquinaria general se observa una depreciación a 20 años. En el caso de construcción legal es de 100 años.
- Pérdidas de ejercicios anteriores	En caso de presentar pérdidas contables en algún periodo, el Estado permite considerarlo como gasto para deducir impuestos. Se considera acumulable hasta un periodo de 5 años.
= Utilidad antes de impuesto	Suma de las partidas anteriores con su respectivo signo, utilidad contable para un periodo determinado.
- Impuestos de primera categoría	En caso de presentar utilidades contables, el Estado de Chile solicita a las empresas un pago del 15% del ingreso.
= Utilidad después de impuestos	Utilidad una vez pagados los impuestos correspondientes.
+ Depreciación legal	Se reincorpora el capital que descontó impuesto.
+ Pérdida ejercicios anteriores	Como las pérdidas del periodo anterior ya están consideradas, no repercuten para el periodo evaluado más allá de la deducción de impuestos.
= Flujo operacional	Flujo real debido a las operaciones del proyecto
- Inversión fija	Los recursos desembolsados para adquirir los activos fijos del proyecto.
+ Valor residual de los activos	Precio al cual se vende el equipo al final de la vida útil de proyecto.
- Capital de trabajo	Corresponde a los recursos necesarios para poder mantener las operaciones del proyecto. Surgen del desfase entre pagos y cobros.

Tabla 7. 18. Descripción de confección de un flujo de caja.

Partida	Descripción
+	Recuperación del capital de trabajo Una vez que el proyecto a concluido, se procede y recuperar el capital inyectado para balancear los pagos y cobros.
+	Préstamos En caso de que el proyecto haya recibido un préstamo de otra institución, se suma aquí como un ingreso.
-	Amortizaciones Corresponde al pago de préstamos incurridos, el interés del préstamo se incluye en el flujo operacional.
=	Flujo de Capitales Suma de las ultimas cinco partidas resulta en el flujo de capitales, no sujeto a impuestos.
=	Flujo de Caja La suma del flujo operacional y el de capitales, presenta el flujo de recursos debido a la realización del proyecto para el periodo evaluado.

Llegando a flujos de caja como los indicados en los Anexos D.

Dado que se requiere una inversión por parte de las empresas y un cambio en su producción anual, se evalúa el proyecto de traer el equipo requerido en base al valor actual neto del dinero (VAN) y su tasa interna de retorno (TIR).

El VAN corresponde al excedente de ingresos que recibe la empresa por realizar la inversión, considerando el costo de oportunidad por no haber invertido en otro proyecto. En la Ecuación 7.1. se tiene que F_t corresponde al retorno/perdida de capital para el periodo t , y r es la tasa de rendimiento que la empresa espera obtener por sus inversiones.

Si el VAN resulta positivo, se considera como una inversión aceptable.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} \quad \text{Ecuación 7.1}$$

La TIR representa la tasa interna de retorno para la cual el VAN se hace cero, estando así ambos indicadores relacionados por las mismas variables de entrada. La TIR es el límite de la indiferencia para decidir si hacer o no el proyecto. En caso de que la TIR sea mayor que la tasa de rendimiento de la empresa, r , se recomienda realizar el proyecto.

Como la tasa de rendimiento se calcula desde el CAPM, en base a la cartera de inversiones de la empresa y su propia aversión al riesgo, es importante incorporar el indicador TIR de cada proyecto.

Se estudió la TIR y el VAN para distintas configuraciones de:

- TIR frente al espesor de plata a depositar
- VAN frente al espesor de plata
- VAN frente a precios de adquisición
- VAN según la demanda.

Luego se compara entre las TIR y espesores para los equipos evaluados.

A continuación se presentan los gráficos representativos de la evaluación económica, donde se observa que se debe depositar menos de 170 μm de Ag para hacer el proyecto de adquisición del equipo de Shangai Vacumme Technology rentable, Figura 7.1.

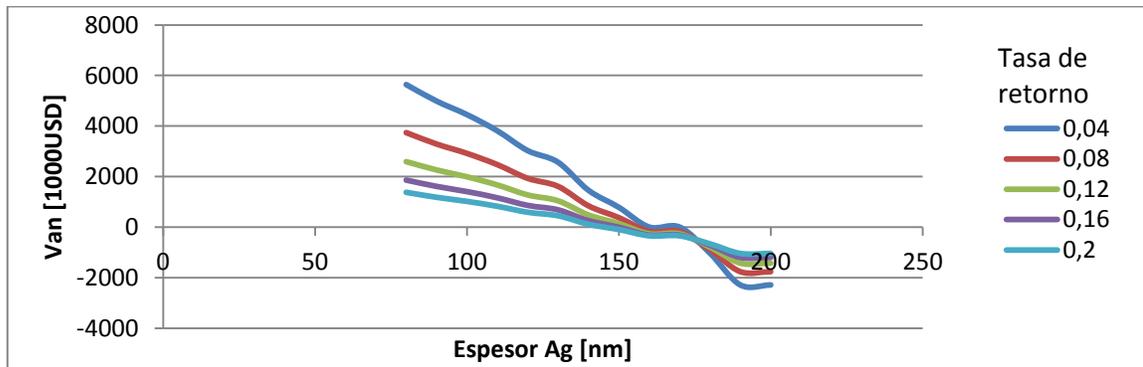


Figura 7. 1. VAN para el equipo de Shangai Vacumme Technology frente a variaciones en la tasa de retorno a considerar y el espesor de la superficie reflectante.

Se observa que el equipo Von Ardenne permite depositar hasta más de 200 μm para mantener el proyecto rentable, lo cual es apropiado para la utilización en espejos expuesto a climas desérticos durante largos periodos de tiempo. Figura 7.2.

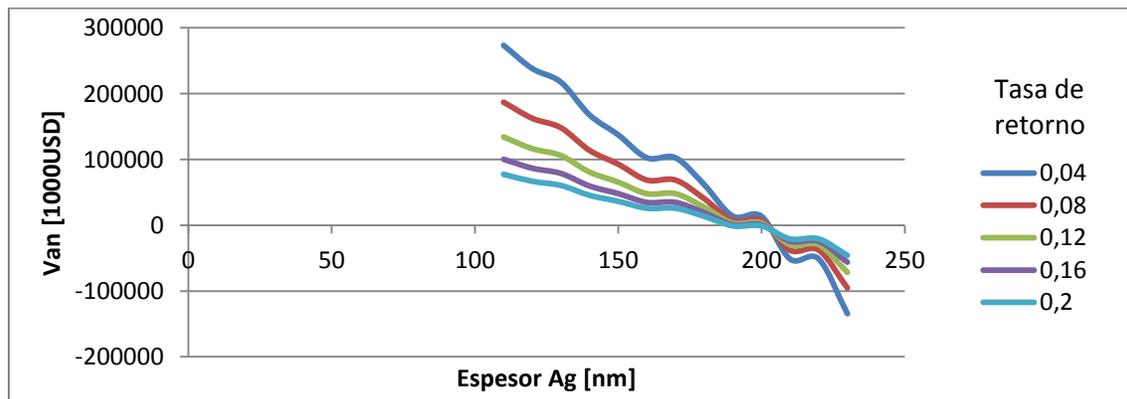


Figura 7. 2. VAN frente a variaciones en el espesor de superficie reflectante a depositar y diferentes tasas de retorno

En la Figura 7.3, se observa que para espesores menores a 160 μm de Ag, el proyecto es rentable dentro de los costos de adquisición del equipo, de Shangai Vacumme Technology.

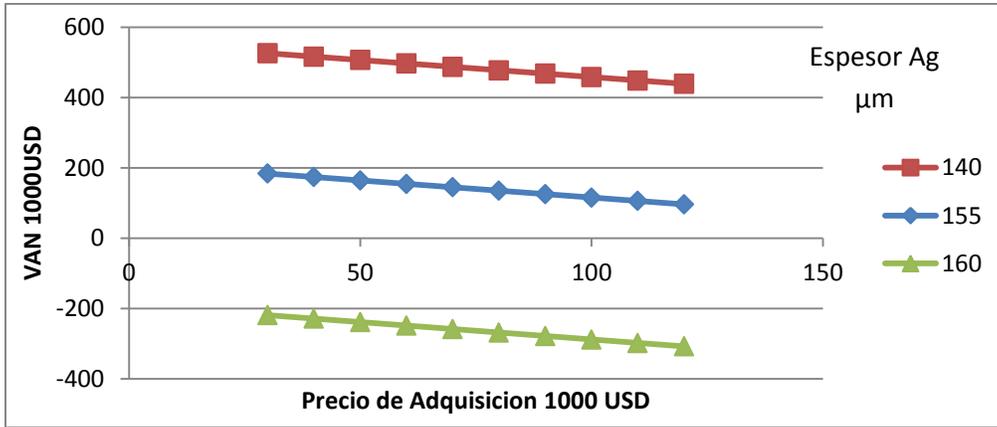


Figura 7. 3. VAN de proyecto con equipo de Shangai Vacumme Technology, para distintos espesores de deposición.

En la Figura 7.4, se observa que el proyecto de adquisición de equipos para sputtering Von Ardenne, se hace rentable con espesores de hasta 200 μm y costos de adquisición de hasta 8M USD.

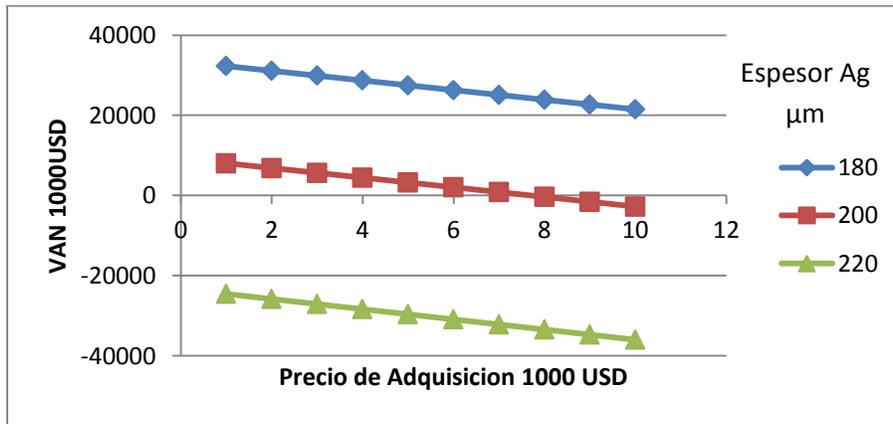


Figura 7. 4. VAN de proyecto con equipo de Von Ardenne, para distintos espesores de deposición.

En la Figura 7.5, se observa la fuerte sensibilidad que tienen los proyectos frente a diferentes demandas, requiriendo de cerca de 30.000 m² de superficie reflectante para hacer el proyectos de adquisición de sistemas de deposición Shangai Vacume Technology rentables.

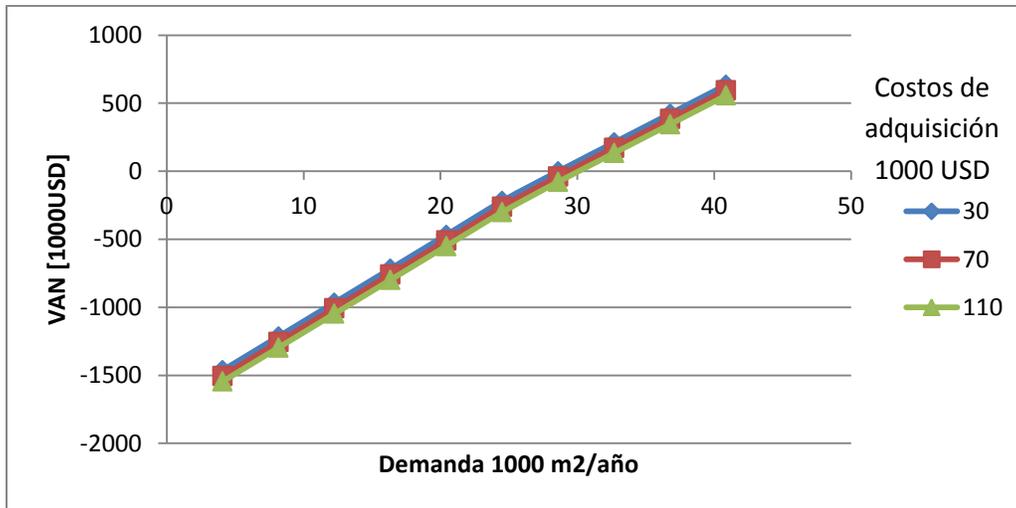


Figura 7. 5. VAN según demanda para el proyecto con equipos de Shanghai Vacumme Technology, con distintos costos de adquisición.

En el caso del proyecto de adquisición de equipos Von Ardenne, se observa un mayor costo de adquisición, con hasta 10 veces mayores retornos, pero exigiendo una demanda de al menos 1 millón de m² de superficie reflectante.

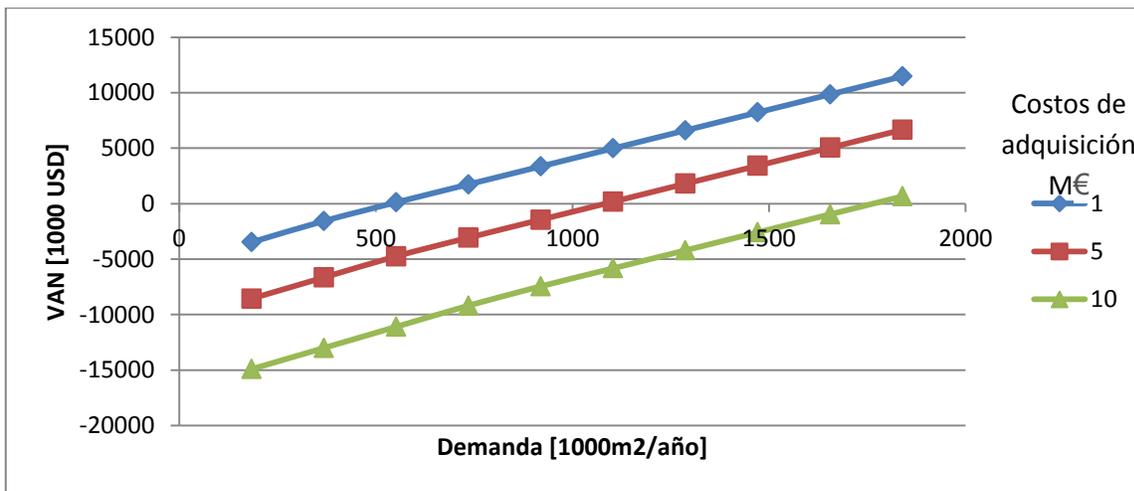


Figura 7. 6. VAN según demanda para el proyecto con equipos de Von Ardenne, con distintos costos de adquisición.

Al comparar la demanda requerida para considerar mayores deposiciones se observa un límite hacia los 170 μm , con una demanda de en torno a 40.000 m² para hacer el proyecto de adquisición rentable.

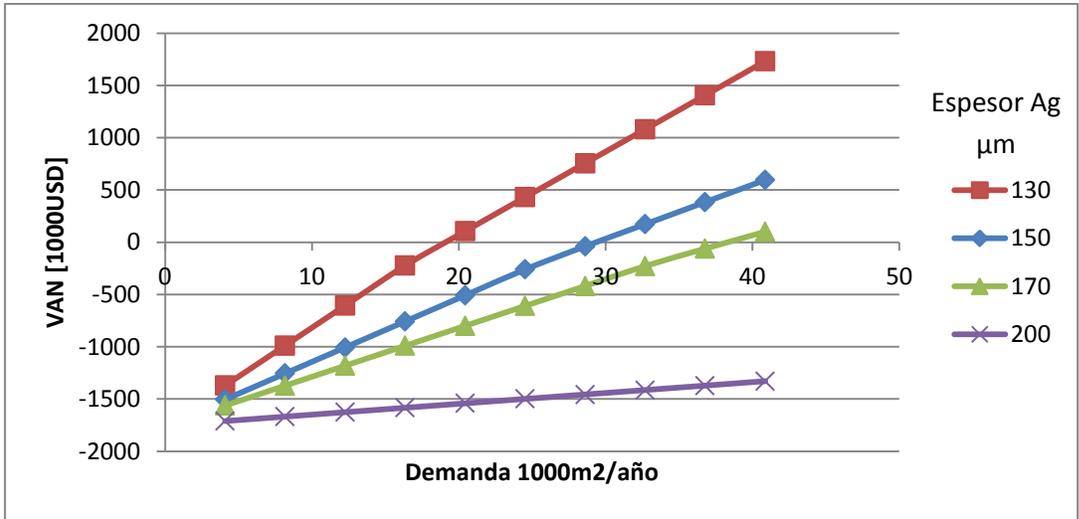


Figura 7. 7 VAN según demanda para proyecto con Shanghai Vacumme Technology, para distintos espesores de superficie reflectante

En la Figura 7.8, se observa que el proyecto de adquisición del equipo Von Ardenne, se hace rentable con deposiciones de aproximadamente a 200 μm de Ag y una demanda de entorno a 1,1 Millón m².

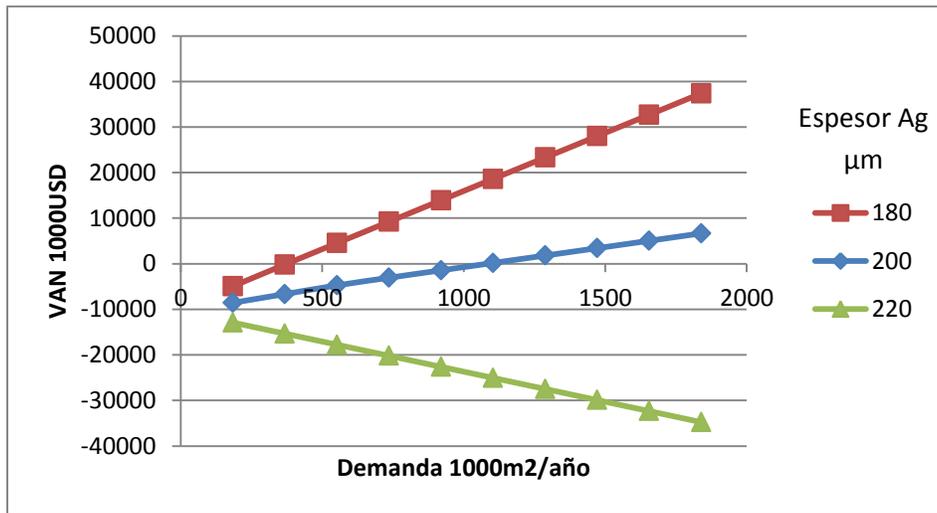


Figura 7. 8. VAN según demanda para proyecto con Von Ardenne, para distintos espesores de superficie reflectante

Se comparan los proyectos por medio del indicador TIR, Figura 7.9, tomando demandas crecientes desde 0,4 hasta la totalidad de la capacidad productiva en los primeros 7 años y luego constante, para diferentes espesores de superficie reflectantes. Se llega a las mismas conclusiones que las presentadas con el VAN, permitiendo deposiciones máximas de cerca a 170 μm, y 200μm de plata.

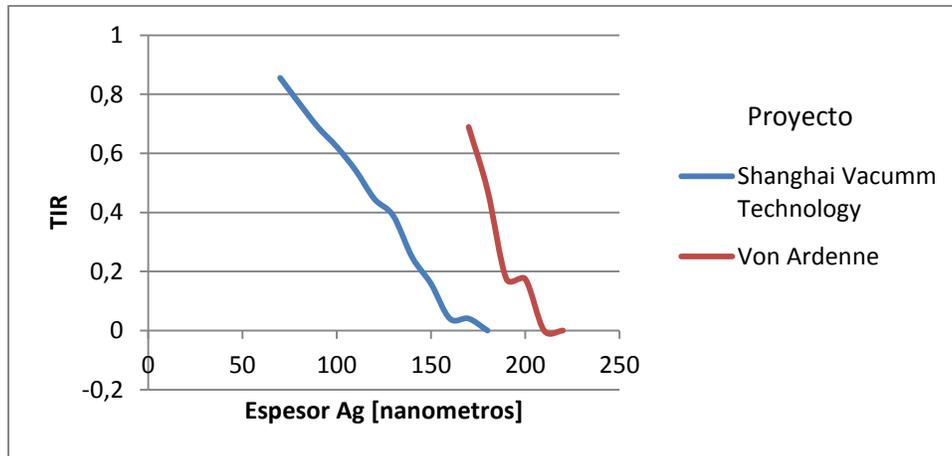


Figura 7. 9. Comparación entre las TIR de los proyectos propuestos.

Al comparar la sensibilidad en el beneficio posible para cada proyecto, Figura 7.10, se observa una mayor sensibilidad para el proyecto Von Ardenne que para el proyecto Shangai.

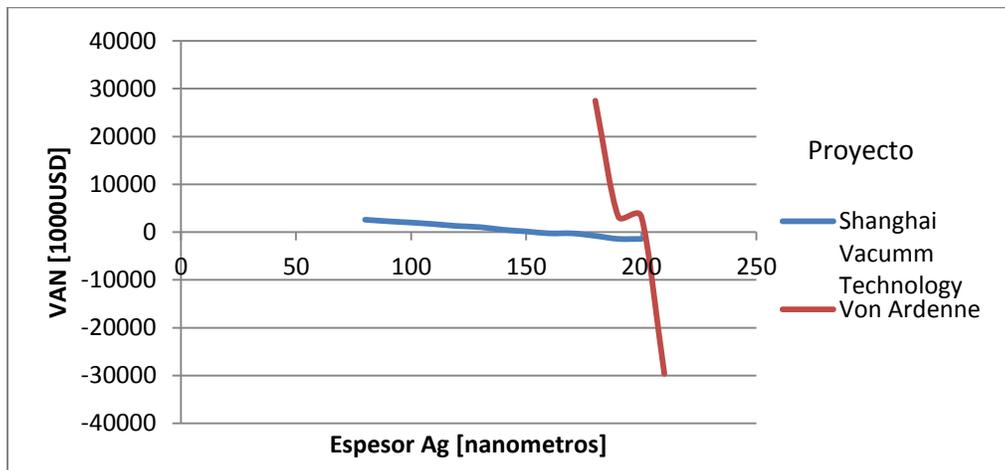


Figura 7. 10. VAN para los dos proyectos en función del espesor de la capa reflectante

En las Figuras 7.11 y 7.12, se observa claramente la diferencia en demanda requerida para hacer los proyectos rentables, se aprecia una diferencia de dos órdenes de magnitud entre las demandas requeridas para que los proyectos se consideren rentables.

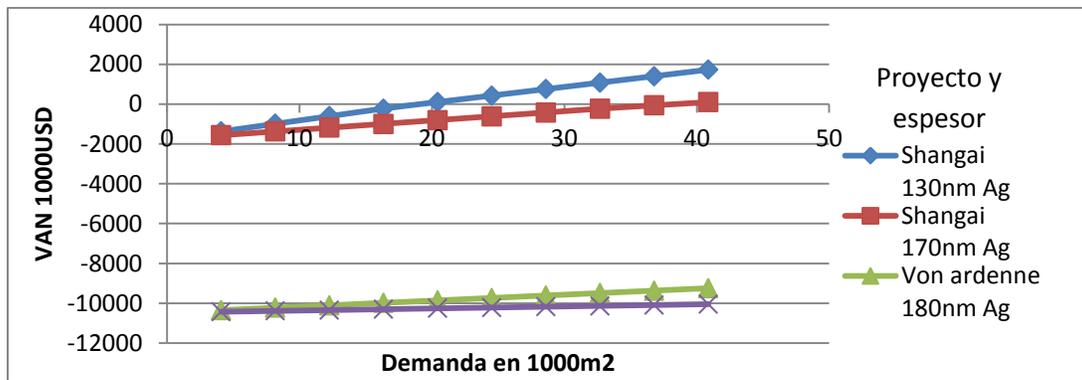


Figura 7. 11. VAN en función de la demanda para los proyectos presentados, con diferentes espesores de superficie reflectante

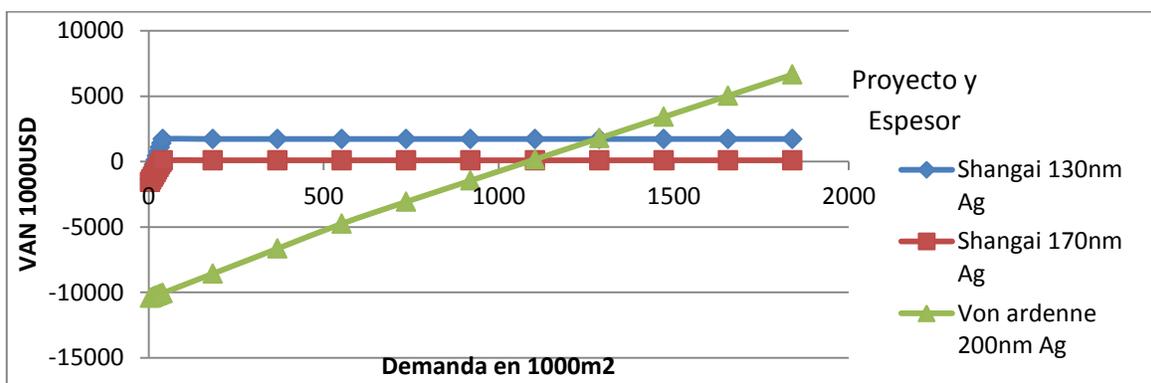


Figura 7. 12. VAN para los proyectos considerando elevadas demandas para los distintos proyectos con diferentes espesores de superficie reflectante

Para los proyectos de adquisición de equipos provistos por Shanghai Vacuum Technology o por la compañía Von Ardenne, las observaciones realizadas en la evaluación de los dos proyectos vistos se resume en la Tabla 7.19, destacando las magnitudes de demanda cubierta con los distintos proyectos.

Tabla 7. 19. Observaciones de los proyectos de adquisición de equipos de sputtering.

Observación	Shanghai Vacuum Technology	Von Ardenne
Espesor máximo de superficie reflectante	Entre 150 y 170 μm para hacer rentable el proyecto.	Entre 190 y 210 μm para hacer rentable el proyecto.
Costo de adquisición	Para espesores menores a 155 μm , los costos de adquisición presentados siempre entregan VAN positivo.	Para espesores de hasta 200 μm , un costo de adquisición de menos de 8 M €.
TIR	Para mismo espesores de superficie reflectante y demandas crecientes desde 0,4 a 1,0 veces la capacidad total productiva en los primeros 7 años, el proyecto Von Ardenne tiene una TIR mayor.	
Demandas	Para baja escalas.	Para grandes escalas.
Demanda	Para espesores menores a 170 μm , una demanda de al menos 40.000 $\text{m}^2/\text{año}$ asegura VAN positivo.	Para espesores menores a 200 μm y demandas mayores a 1.100.000 $\text{m}^2/\text{año}$, asegura un VAN positivo.

Dado el proyecto chileno de generar el 20% de su matriz energética con ERNC, considerando que la radiación incidente alcanza en torno a 0,9 Kw-h/m² y un aumento de consumo de 80% respecto a 1998, se podría decir que tan solo Chile podría requerir al menos 13 M m² en un lapso de 10 años. Si se mantiene dicho requerimiento se hace rentable la adquisición del equipo Von Ardenne.

7.7. Adquisición de equipo removedor de fierro

7.7.1. Consideraciones para el proyecto de adquisición de equipo removedor de fierro.

Dada la necesidad de reducir el contenido de fierro en la arena a fundir en el vidrio hasta alcanzar menos de 300 ppm, se ha considerado la adquisición de un equipo minero que remueve el contenido de fierro en la arena. Se realizó una cotización a los proveedores de equipos de minería JiangXi Jinshibao Mining Machinery Manufacturing co., Ltd. Tomando las consideraciones expuestas en la Tabla 7.20.

Tabla 7. 20. Características de la cotización realizada

Característica	Descripción
Procesos previos	Molienda húmeda con bolas
Granulometría	Entre 0,15 y 0,83 mm
Capacidad	10.000 ton/año
Características del fierro	Bajo magnetismo

La corporación JiangXi presentó la oferta de un equipo capaz de remover el fierro y asegurar concentraciones inferiores a las 300 ppm requeridas en el vidrio. Su oferta es descrita en la Tabla 7.21.

Tabla 7. 21. Características del equipo ofrecido

Característica	Descripción
Fabricante	JiangXu Jinshibao Mining Machinery Manufacturing
Precio	78.000 USD, 35% en adelanto, 65% ante entrega
Capacidad	12-20 ton/hr
Condiciones de operación	Húmeda
Superficie magnética	16.000 GS
Rango magnético	1,5 x 2,0 m
Espesor de correa	2,0 mm
Tasa	>95%
Potencia	5,5 Kw
Dimensiones	4,0 x 1,9 x 1,8 m
Peso	3,5 ton
Garantía	1 año para el equipo general, a excepción de la fuerza del campo magnético que cuenta con 3 años de cobertura.
Certificados	CE, SGS, ISO

De forma similar a como se evaluó el proyecto de adquisición de los equipos para depositar por sputtering se evaluó la posibilidad de adquirir la máquina para remover fierro de la arena y un silo para almacenar la arena baja en fierro hasta que sea necesario utilizarla, Tabla 7.22.

Tabla 7. 22. Consideraciones referentes al estudio

Consideración	Descripción
Densidad del vidrio	2,5 g/cm ³
Densidad de la arena	1,5 Kg/dm ³
Espesor del vidrio	3 mm
Tipo de cambio	150 Peseta/USD en 1997
Consumo de combustible en el horno de Vidrios Lirquén	22.710 L/día o 3 camiones cisterna al día.
LAG para notar la diferencia en el vidrio producido	5 días
Sueldos	12% costos de los costos operación de la instalación (Pilkington 2009)
Costos de operación	35.000 USD para una planta de 164.250 Ton/año.
Precio de venta	2.900 CLP/m ² (librerías)
Puestos de trabajo generados	5 técnicos
Periodos de estudio	20 años

Fuente: [140] Samar Obaid

Dado que “Vidrios Lirquén” es una planta con producción de 100.000 Ton/año, se considera un costo de operación de 38.706.240 USD/año. Con 100 trabajadores, se estima un sueldo medio de 70,16 USD-Día/Trabajador. [140]

El mercado de arenas con alta pureza de silicio es uno de competencia limitada, manteniendo el precio relativamente estable en comparación a otros mercados mineros. Así los costos en arena silicatada de alta pureza se han mantenido constantes.

Tabla 7. 23. Especificaciones típicas en el mercado de arena y cuarzo,

Aplicación	SiO ₂ mínimo (%)	Otros elementos (máximo %)	Otros elementos (máximo ppm)	Mercado 1000-ton/año	Precio medio USD/ton
Arena para vidrio de alta transparencia	99,50	0,500	5.000	>70	30
Filtro semiconductor, LCD y vidrio óptico	99,80	0,200	2.000	2	150
Cuarzo de alta calidad, “grado bajo”	99,95	0,050	500	0.75	300
Cuarzo de alta calidad, “grado medio”	99,99	0,010	100	0,25	500
Cuarzo de alta calidad,	99,99	0,003	30	<0,10	5.000

Fuente: [77] Emma Hughes

También se deben considerar los costos de almacenar la arena limpia hasta haber acumulado suficiente cantidad como para cubrir la demanda anual estimada. Dichos costos se enfocan principalmente en:

- **Confección de Silo:** Los costos de un silo de almacenamiento se estiman utilizando las ecuaciones presentadas por F. Fernandez Cañas[141], en las cuales declara el precio estimable de un silo usando las ecuaciones 7.2 a 7.4.

$$W = 2,74 * L + 0,26 * D^2 - 0,84 * D - 14,12 \quad \text{Ecuación 7.2.}$$

$$W = 12,0 + 2,31 * 10^{-2} * V - 1,2 * 10^{-7} * V^2 \quad \text{Ecuación 7.3.}$$

$$X = 0,80741 * W^{-0.75} \quad \text{Ecuación 7.4.}$$

Donde:

- L: Representa la altura del tanque en metros
- D: representa el diámetro del tanque en metros
- V: Representa el volumen a contener en metros cúbicos
- W: Representa el peso del tanque en Kg. Donde se consideranda la ecuación superior en caso de conocer las dimensiones, y la ecuación inferior en caso de conocer el volumen del tanque.
- X: Representa el precio del tanque en millones de pesetas.
- **Cambio de arena:** Se considera el consumo de combustible y el vidrio no vendible en un lapso de 10 días. Cinco días antes del cambio de material y cinco días después del cambio para regresar a la producción usual.

Así se obtiene un flujo de caja como el que se presenta en el Anexo D-1.

Sustentabilidad Ambiental: Respecto a sustentabilidad se considera la información presentada por ECTA y Cefic, el año 2011 [142], donde se detalla las emisiones de CO₂ para distintas embarcaciones de carga marítima, Tabla 7.24.

Tabla 7. 24. Contaminación ambiental producto del transporte marítimo de bienes.

Embarcación	gCO ₂ /(Ton-Km)	Fuente
Embarcación pequeña para containers (2,500 ton)	13,5	DEFRA
Embarcación grande para containers (20,000 ton)	11,5	DEFRA
Embarcación promedio de ultra-mar	8,4	BSR/Clean Cargo

Fuente: [142] ECTA, Cefic

Se evaluó la tasa interna de retorno y el valor actual neto para diferentes demandas. Considerando 1 USD de 1995 como 1.55 USD para el año 2014 y 580 CLP/USD en 2014. Se menciona que 1 milla náutica equivale a 1,85 Km. Se considera adicionalmente un impuesto de importación del 19% por sobre el cálculo del derecho ad valorem, correspondiente a un 6% del valor CIF de la importación, y un costo de flete asociado a la distancia desde el origen del material.

Tabla 7. 25. Costos por flete de embarcaciones norte americanas y el resto del mundo.

Capacidad [Ton]	Velocidad [Nudos]	Bandera de EE.UU.		Otras Banderas	
		USD/hora	US Cent/Ton- Milla	USD/hora	US Cent/Ton- Milla
Barcos Aljibe de Casco Simple					
20,000	14	\$1.592	1,184¢	\$639	0,475¢
50,000	14	1.953	0,581	815	0,243
90,000	14	2.270	0,375	975	0,161
150,000	14	2.650	0,260	1.162	0,115
265,000	14	3.128	0,176	1.440	0,081
Barcos Aljibe de Casco Doble					
20,000	14	\$1.452	1,080¢	\$583	0,434¢
50,000	14	1.981	0,589	561	0,246
90,000	14	2.519	0,417	759	0,178
150,000	14	3.185	0,316	820	0,138
265,000	14	4.228	0,237	1.204	0,106
Granel Seco					
15,000	14	\$1.093	1,084¢	\$393	0,390¢
40,000	14	1.460	0,532	561	0,209
80,000	14	1.820	0,339	759	0,141
120,000	14	2.136	0,265	820	0,114
200,000	14	NA	NA	1.204	0,090
General					
11,000	17	\$1.059	1,259¢	\$412	0,490¢
20,000	17	1.393	0,910	542	0,354
30,000	17	1.721	0,750	667	0,291

Fuente: [143] Cambridge Systematics

7.7.2. Resultados adquisición equipo removedor de fierro

Al analizar la tasa interna de retorno en función de la demanda, se observa que se requiere de una demanda de al menos 4.000 toneladas/año para hacer el proyecto rentable. Esto equivale a la mitad de la producción actual en espejos de Vidrios Lirquén. Como se observa en la Figura 7.13.

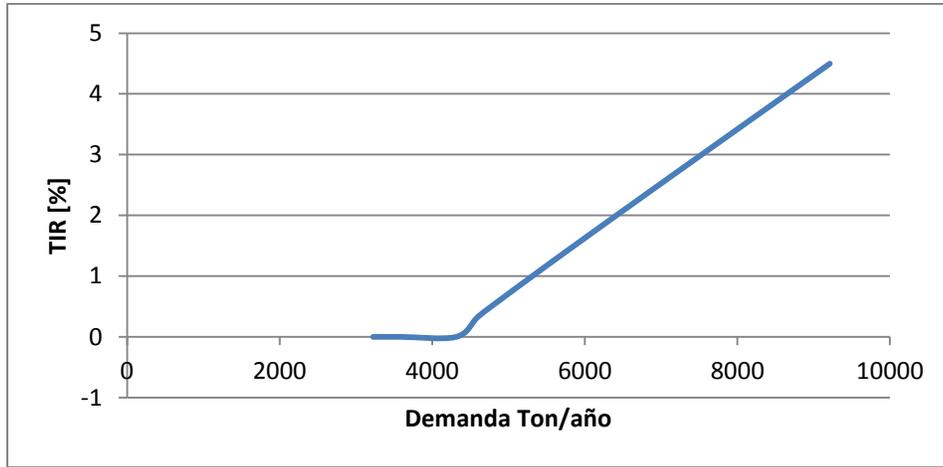


Figura 7. 13. Tasa interna de Retorno para diferentes demandas de vidrio bajo en fierro

Se encuentra el mismo punto de equilibrio en la demanda al utilizar el VAN como indicador, en lugar de la TIR, como se observa en la Figura 7.14.

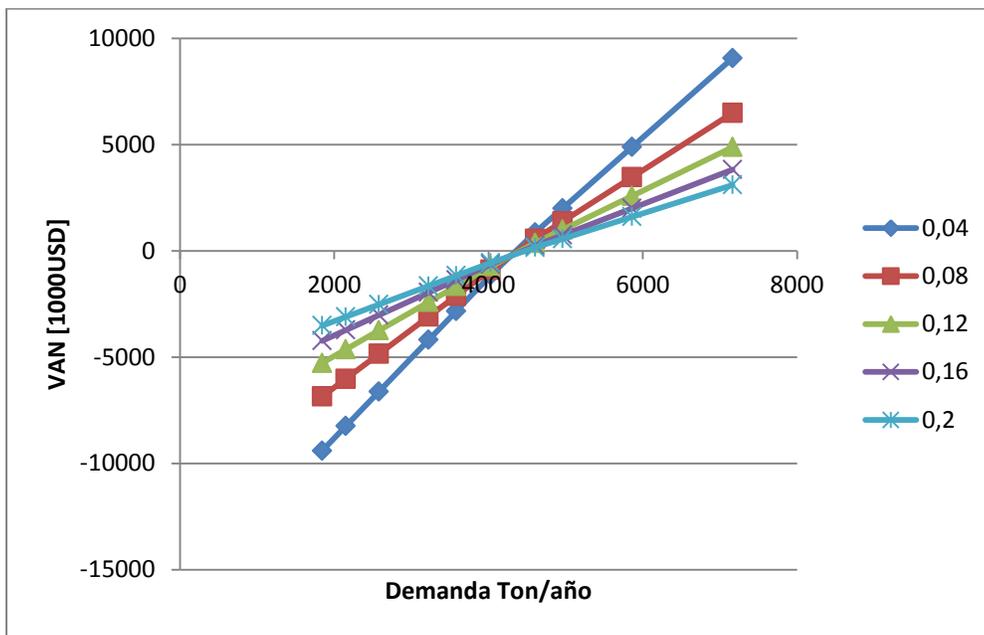


Figura 7. 14. VAN en función de la demanda para diferentes tasas de retorno

Al comparar los costos de importa arena libre de fierro o remover el mineral de forma local, Figura 7.15, se observa un sutil aumento en el rendimiento del proyecto al adquirir el equipo para limpiar la materia prima.

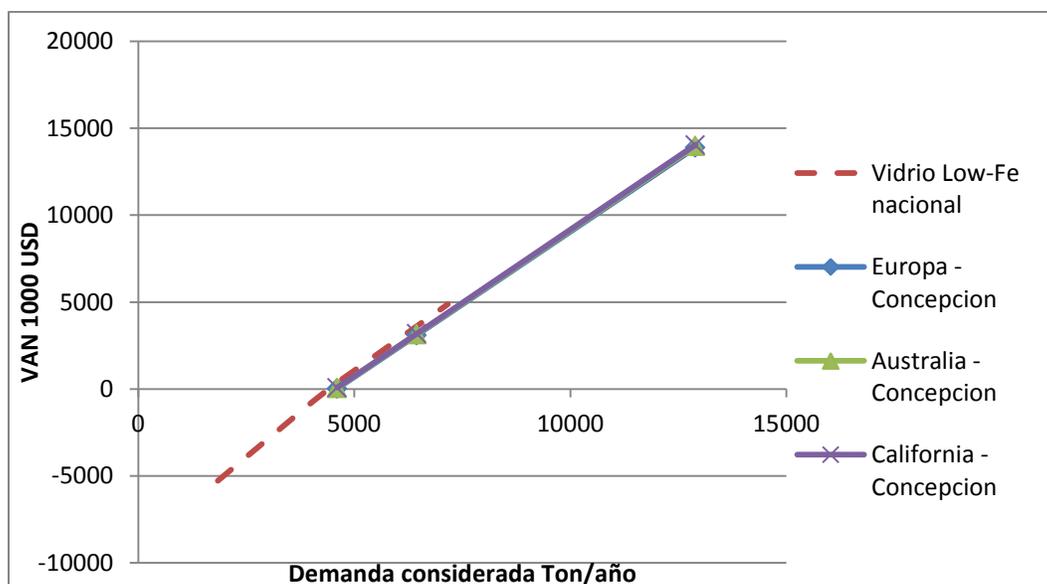


Figura 7. 15. Comparación entre proyectos de importar arena o limpiarla de forma nacional

Considerando las rutas marítimas que cruzan desde Gibraltar, Melbourne y el sur de California hasta diferentes puertos chilenos se recurre a la huella de carbono asociada al movimiento del material, presentada en la Tabla 7.26. La Tabla presenta las emisiones adicionales, las cuales no se emitirían en el caso de limpiar el material en Chile.

Tabla 7. 26. Contaminación en función de la distancia recorrida [143]

Millas náuticas	Kilómetros	Carga [Ton/Año]	Grandes embarcaciones de carga [Ton CO2]	Embarcaciones promedio de carga en ultramar [Ton CO2]	Ahorro mínimo al limpiar arena en Chile [USD/año]
Europa - Concepción		4610	720	520	
7310	13538,12	6450	1000	730	165
		12900	2010	1470	
Europa - Valparaíso		4610	700	510	
7120	13186,24	6450	980	710	160
		12900	1960	1420	
Europa - Antofagasta		4610	650	480	
6630	12278,76	6450	910	670	149
		12900	1820	1330	
Australia - Concepción		4610	580	430	
5931	10984,212	6450	810	600	134
		12900	1630	1190	

Fuente: [142] ECTA, Cefic, [143] Cambridge Systematics

Tabla 7. 27. Contaminación en función de la distancia recorrida. Continuación Tabla 7.26.

Millas náuticas	Kilómetros	Carga [Ton/Año]	Grandes embarcaciones de carga [Ton CO2]	Embarcaciones promedio de carga en ultramar [Ton CO2]	Ahorro mínimo al limpiar arena en Chile [USD/año]
Australia - Antofagasta		4610	640	470	
6525	12084,3	6450	900	660	147
		12900	1790	1310	
California - Antofagasta		4610	440	320	
4433	8209,916	6450	610	440	100
		12900	1220	890	
California - Concepción		4610	480	350	
4931	9132,212	6450	680	500	111
		12900	1350	990	
California - Valparaíso		4600	470	340	108
4806	8900	8900	6450	660	482
			12900	1320	964

Fuente: [142] ECTA, Cefic, [143] Cambridge Systematics

Se hace evidente que dada la escala de los proyectos no hay grandes diferencias entre los orígenes de la arena a utilizar, pero destaca que aquella traída desde el oeste de los Estados Unidos resulta en mayores ingresos para el proyecto. En la medida que aumenta la demanda por la arena, aumenta el valor del proyecto de forma lineal.

Se observa que los proyectos presentan un valor similar, el que entrega mayores beneficios es el de traer el equipo para remover el fierro de la arena de forma nacional. Los cuatro proyectos requieren de la venta de, cuanto menos, 4,000 toneladas al año para ser rentables, lo que equivale a diferentes cantidades de superficie dependiendo del espesor del vidrio a producir, superficies descritas en la Tabla 7.28.

Tabla 7. 28. Superficie total producida para 4,000 [Ton] con distintos espesores

Espesor	Superficie
3 mm	531.717 m ²
4 mm	398.787 m ²
5 mm	12.407 m ²

El mejor proyecto corresponde a la adquisición del equipo removedor de fierro, sin embargo, dicho proyecto presenta un mayor riesgo, debido a que fuerza a Vidrios Lirquén a vender 4,000 ton de vidrio bajo en hierro al año, durante 20 años. Mientras que importar la arena para fundir permite abandonar el proyecto en caso de no ser capaces de vender dicha cantidad de material. Se debe mencionar que si consideran los proyectos solares en desarrollo (presentados en los reportes de ERNC de CER) se tendrá un requerimiento de

cuanto menos 1,714,200 m²/año, si se toma una eficiencia del 100% en conversión de energía solar a útil y completa cobertura del requerimiento con energía solar.

7.8. Costos manufactura del colector

Para estudiar la capacidad manufacturera de Chile, se debe contar con un diseño de estructura a trabajar. Para esto se ha hecho uso de los procedimientos y consideraciones de diseño descritas en la Sección 3 de este informe. Se ha tomado como punto de comparación para el diseño realizado el colector para techos LF-11 diseñado por “Industrial Solar”, Figura 7.16.

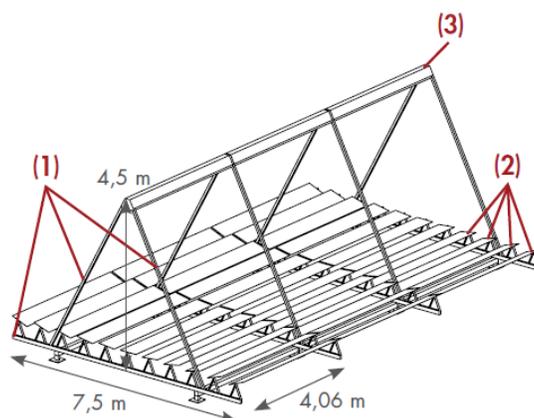


Figura 7. 16. Boceto del colector LF-11 diseñado por Industrial Solar [92]

En la Tabla 7.29, se presenta una descripción general del colector a utilizar para evaluar la capacidad manufacturera nacional. Se incluyen los planos correspondientes en los Anexos E. En la Figura 7.17, se entrega un boceto isométrico del colector a considerar. En los Anexos E se incorporan diagramas que permiten distinguir los componentes estructurales que se han dimensionados.

Tabla 7. 29. Especificaciones del diseño del colector a evaluar

Parámetro	Valor
Área de espejos, por módulo	15 m ²
Área total cubierta	19.95 m ²
Número de espejos	5 por lado
Ancho de espejo	0,5 metros
Largo de espejo	3,0 metros
Separación entre espejos	0,65 metros de centro a centro
Altura base	0,5 metros
Tipo de receptor	Trapezoidal/Parábola/Doble parábola
Altura del receptor	3,15 metros sobre la altura base
Ancho zona de recepción	0,27 metros en la base del receptor
Ángulo de las paredes	60°
Aislación	0,02 m lana mineral
Profundidad de la cavidad	10 cm
Relación área total/espejos	1,3

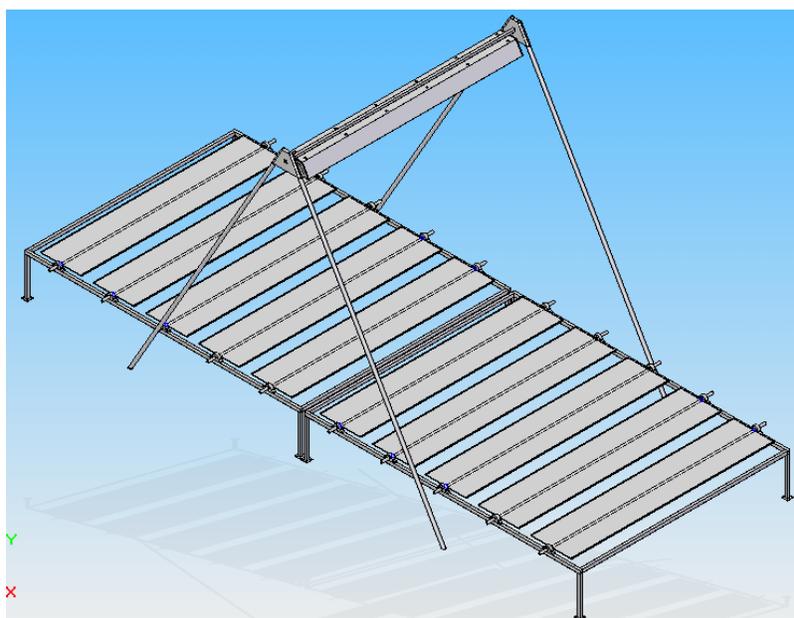


Figura 7. 17. Boceto del reflector a evaluar

Dependiendo de los espejos y el absorbedor utilizado se obtienen distintos rendimientos para el equipo. Se utiliza el sistema SAM para obtener una aproximación del calor acumulado en el campo de colectores. En las Tablas 7.30 a 7.32, se presentan las consideraciones utilizadas para las distintas situaciones analizadas utilizando el software.

Tabla 7. 30. Observaciones de los materiales incorporados en el sistema, Reflector

Parámetro	Espejo	
	Espejo Optiwhite	Espejo Mirage
Espesor	3mm	3mm
Reflectancia	0.85	0.81

Tabla 7. 31. Observaciones de los materiales incorporados en el sistema, Cilindro Absorbedor

Parámetro	Absorbedor	
	PTR 70	Solkote sobre Cu
Absortancia	0,96	0,9
Emisividad	0,06	0,2
U0 forma 1	0,141	0,1799
U1 forma 1	$6,48 \cdot 10^{-9}$	0,0062
U2 forma 2	-	0,9265
U3 forma 2	-	$5,3706 \cdot 10^{-8}$
Pérdidas consideradas [W/m]	45	320

Tabla 7. 32. Consideraciones incorporadas en la simulación SAM

Otras consideraciones	
Parámetro	Valor considerado
Error de rastreo	0,97
Efectos de geometría	0,95
Suciedad sobre el espejo	0,85
Degradación óptica general	0,73
Método de caracterización óptica	Tabla de incidencia
Múltiplo solar	1,8
Radiación de diseño	950 Wh/m ²
Módulos por lazo	1
Fluido térmico	Therminol 59
Capacidad de Calor BOP caliente	0,2 kWh/K-MWt
Capacidad de Calor BOP frio	0,2 kWh/K-MWt
Lavados por año	120
Otros valores	Configuración default del software

Para el cálculo de los cimientos a utilizar se aprovecha la Tabla 7.33, para aproximar la resistencia del suelo. Se considera un suelo de baja resistencia como el arcilloso blando a modo de no subestimar el requerimiento de concreto en el colector. Se utiliza una profundidad de cimientos estimada en 0,5 metros.

Tabla 7. 33. Presiones admisibles en terrenos de cimentación, concreto a entre 0.5 y 0.8 metros de profundidad [143]

Naturaleza del Terreno	Presión admisible en Kg/cm ² , para profundidad de cimentación en m				
	0	0,5	1	2	3
Rocas					
No estratificadas	30	40	50	60	60
Estratificadas	10	12	16	20	29
Terrenos sin cohesión					
Gravas	--	4	5	6,3	8
Arenoso Grueso	--	2,5	3,2	4	5
Arenoso Fino	--	1,6	2	2,5	3,2
Terrenos coherentes					
Arcilloso duros	--	--	4	4	4
Arcillosos semiduros	--	--	2	2	2
Arcillosos Blandos	--	--	1	1	1
Arcillosos Fluidos	--	--	0,5	0,5	0,5

Se enviaron cotizaciones a diferentes proveedores por medio de sus portales web, pero solo se obtuvo respuesta de algunos, así se llegó a los costos de materia prima presentados en las Tabla 7.34, a 7.36.

Tabla 7. 34. Tabla estimadora de costos de acuerdo a distintos proveedores

Componente	Material	Proveedor	Formato de venta	Precio	
Reflector secundario y casing	Casing de Acero Galvanizado, reflector secundario de aluminio anodizado	Lámparas Chile. factibilidad de fabricar 1.400 metros con entrega parcelada a 30, 60 y 90 días.	Largos de entre 0,5 a 2,0 metros	75.000 CLP/metro,	
	Lana Mineral	Volcán	Rollos, panel, con papel, polipropileno, aluminio. 0,04 a 0,44 W/mK	1.505 CLP/m ² , 40 mm de espesor. 4.285 CLP/m ² , 50 mm de espesor.	
Estructura	Planchas de Acero SAE 1008. Laminada en frio.	Cintac	Anchos 1.000 y 1.200mm. Largos 2,0 – 2,5 – 3,0 metros. Espesores de 0,4 a 1,9 mm.	480 CLP/kg + IVA	
	Perfil cuadrado SAE 1010	Cintac	Largos 6 metros Ancho y alto de 15 a 135 mm. Espesor de: 1 a 5 mm.	510 CLP/Kg + IVA	
	Cañería A37-24ES, SAE1010- SAE1008	Cintac	Largo: 6 metros Diámetro ¾” a 5” espesor de 1. a 5 mm.	490 CLP/Kg + IVA	
	Ángulos A 270ES, ASTM A36	Cintac	6 metros de largo. Ancho y alto de 20 a 100 mm. Espesores de 3 a 12 mm.	490 CLP/Kg +Iva	
	Adquisición y procesamiento del acero		Generador de precios, rehabilitación. Chile. Acera A36, laminado en caliente, galvanizado en caliente, fijado con tornillos. Colocado hasta 3m de altura.	Precio por peso en báscula a la llegada a la obra	1.489 CLP/Kg montado
			[136]	Estructura pesada 60 a 90Kg/m,	1.765 CLP/m ² instalado
	Galvanizado	Bbosch	130 ton de acero, espesor promedio de 8mm. Galvanizado. 12 años	12.125 CLP/m ²	

Fuente: [136] CBC. 2012

Tabla 7. 35. Tabla estimadora de costos de acuerdo a distintos proveedores

Componente	Material	Proveedor	Formato de venta	Precio
		Bbosch	130 ton de acero, espesor promedio de 8mm. Galvaplex (galvanizado y pintura) 27 años	18.604 CLP/m ²
Fluido térmico	Transferencia	Mobil	Barril	822 a 973 USD/Barril
	Almacenamiento	SQM		600 USD/Ton
Fundaciones y obras civiles	Hormigón	[136]	Hormigón H10 emplantillado	48.852 CLP/m ³
	Hormigón	[136]	Hormigón H30	185.755 CLP/m ³
	Acero	[136]	Acero	1.325 Clp/Kg
	Moldajes	[136]	Moldajes	41.400 Clp/m ²
	Anclajes	[136]	Pernos y anclajes	5.000 Clp/Kg
Movimientos de tierra	Excavación	[136]	Excavación estructural suelo común	4.372 Clp/m ³
	Excavación	[136]	Excavación estructural suelo rocoso	31.178 Clp/m ³
	Relleno	[136]	Compacto seleccionado	10.948 Clp/m ³
	Relleno	[136]	Compacto Material de excavación	7.237 Clp/m ³
	Relleno	[136]	Estructural seleccionado	8.573 Clp/m ³
	Superficie	[136]	Preparación de superficie	283 Clp/m ²
Reflector	Vidrio Optiwhite	Vidrio bajo en hierro	Espesor ≥3 mm,	9 USD/m ² , para 4mm de espesor
		Espejo fabricado desde Optiwhite		14-15 USD/m ²
		Espejo Mirage, tradicional Vidrios Lirquén	Espesor 3mm	5.800 CLP/m ²
		Optimirror importado, Lirquén		7.856 CLP/m ²

Fuente: [136] CBC. 2012

Tabla 7. 36. Tabla estimadora de costos de acuerdo a distintos proveedores

Componente	Material	Proveedor	Formato de venta	Precio
		Miro Sun	Aluminio 0,85 especularidad	22,79 USD/m ²
	Lamina reflectante sobre aluminio	Reflectech Mirror Film	Lámina sobre aluminio de 1.3mm	43,31 USD/m ²
Fluido térmico	Mobil/Copec	Mobiltherm 603		821,15 USD/Barril
	Mobil/Copec	Mobiltherm 605		973,02 USD/Barril
Sal solar	SQM	60% Nitrato de Sodio y 40 %Nitrato de Potasio		2.909 CLP/KWh almacenado
		Nitrato de Potasio	Exportación de Chile a India	57 INR/Kg o 568 CLP/Kg
Absorbedor	PTR-70 High temperatura receiver	Beacon energy Vidrio alto borosilicato	Largo: 4.060 mm Diámetro exterior: 125 mm T° max: 350 °C	540-640 USD/unidad
	Cañería recubierta en óxido de cromo, Solkote	Britec	Diámetro 70mm Largo por definir. Colaboración con Solkote	66.850 CLP/m

Fuente: [136] CBC. 2012

Se resumen las características de los componentes considerados en el diseño a evaluar en las Tabla 7.37, y 7.38.

Tabla 7. 37. Materiales del colector diseñado

Componente	Peso	Largo [mm]	Ancho[mm]	Espesor[mm]	Cantidad
Estructura de soporte laterales	2,93 Kg/m	3.000	50	2	4 un/Mód
Piernas de soporte	2,93 Kg/m	500	50	2	8 un/Mód
Estructura de soporte frontal	2,93 Kg/m	3.325	50	2	4 un/Mód
Placa soporte del espejo	5,6 Kg/m ²	3.000	500	0,7	10 un/Mód
Contorno placa soporte, angulo.	0,50 kg/m	3.000 500	20 20	2 2	20 un/Mód 20 un/Mód
Placa cierra fijación espejo	5,6 kg/m ²	3.000 500	20 20	0,7 0,7	20 Un/Mód 20 Un/Mód
Soporte bandeja	2,9 Kg/m	3.000	50	2	10 Un/Mód

Un/Mód: Unidad/Módulo

Tabla 7. 38. Materiales del colector diseñado. Continuación Tabla 7.37

Componente	Peso	Largo [mm]	Ancho[mm]	Espesor[mm]	Cantidad
Dimensiones de la unidad requerida					
Placas anti flexión y superficie para colocar los ejes	5,6 kg/m ²	225 (triangulo rectángulo)	50	0,7	100 Un/Mód
Ejes de rotación bandeja	2,4 kg/m	100	Diámetro: 50	2	20 Un/Mód
Soportes del receptor	2,4 kg/m	3.780	Diámetro: 50	2	4 Un/Mód
Receptor	-----	3.000	266	25	1 Un/Mód
Lana mineral	40-100 Kg/m ³	3.000	515	20	10 Un/Mód
Espejo	2.500 kg/m ³	3.000	500	3	10 Un/Mód
Fluido térmico	0,7 Kg/L	3.000	Diámetro 70	-----	8,1 Kg/Mód
Concreto	0,005m ³ /Un	500	100	100	8 Un/Mód

Un/Mód: Unidad/Módulo

Se estudian distintas configuraciones, cambiando el absorbedor utilizado, los reflectores a instalar, el largo y ancho de los espejos. La Tabla 7.39 describe el precio unitario y requerimiento para uno de los módulos utilizados.

Tabla 7. 39. Presentación de costos colector chileno con absorbedor PTR70 con precio ofrecido por Beaconergy, espejos fabricados con vidrio Optiwhite

Partida	Precio unitario	Unidades requeridas	Total estimado
Acero trabajado	1.900 CLP/Kg	318,8 Kg/Módulo	605.652 CLP/Módulo
Galvanizado	9.524 CLP/m ²	34 m ² /Módulo	323.028 CLP/Módulo
Espejos	12.325 CLP/m ²	15 m ² /Módulo	184.875 CLP/Módulo
Receptor	75.000 CLP/m	3 m/Módulo	234.000 CLP/Módulo
Lana Mineral	1.505 CLP/m ²	1,5 m ² /Módulo	2.258 CLP/Módulo
Tubo absorbedor	88.450 CLP/m	3 m/Módulo	275.964 CLP/Módulo
Fluido térmico	2.998.679 USD/m ³	0,024 Barril/Módulo	72.011 CLP/Módulo
Preparación de superficie	283 CLP/m ²	20,6 m ² /Módulo	5.814 CLP/Módulo
Concreto	244 CLP/Apoyo	0,06 m ³ /Módulo	2.938 USD/Módulo
		Total	1.704.276 CLP/Módulo
		Total 10.000 m², espejos	667 Módulos
		Total 10.000 m², espejos	1.959.918 USD
		Total 10.000 m², espejos	1.136.751.983 CLP

Para las distintas configuraciones utilizadas se observa que los componentes varían en su ponderación respecto al costo global del módulo. En la Tabla 7.40, se observa como varían dichas ponderaciones, resaltando la influencia en los costos del acero y galvanizado. Seguido por la incorporación del costo del absorbedor y espejos. Ilustración gráfica en la Figura 7.18.

Tabla 7. 40. Tabla de porcentajes de distintos componentes frente al costo del colector total

	PTR70			Solkote-Cu		
	Optiwhite	Mirage	Mirosun	Optiwhite	Mirage	Mirosun
Acero [%]	35,54	37,70	35,26	38,43	40,98	38,11
Galvanizado [%]	18,95	20,11	18,81	20,50	21,86	20,33
Terreno [%]	0,34	0,36	0,34	0,37	0,39	0,37
HTF [%]	4,23	4,48	4,19	4,57	4,87	4,53
Receptor [%]	13,73	14,57	13,62	14,85	15,83	14,72
Concreto [%]	0,17	0,18	0,17	0,19	0,20	0,18
Especios [%]	10,85	5,42	11,54	11,73	5,89	12,48
Absorbedor [%]	16,19	17,18	16,07	9,36	9,98	9,28
Costo USD/Módulo	2.938	2.770	2.962	2.717	2.548	2.740
Costo USD/10,000 m² de especios	1.959.918	1.847.360	1.975.654	1.812.164	1.699.607	1.827.580

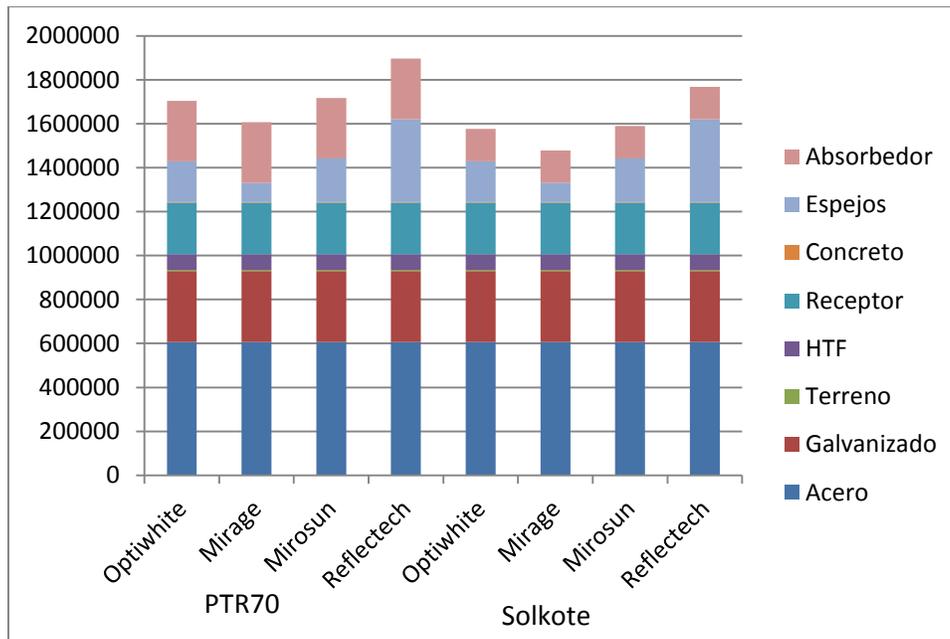


Figura 7. 18. Resumen costos del colector

En la figura 7.19 se observa como el rango de porcentaje, en los costos del colector, que se asocia a cada componente, destacando el acero como la partida que más eleva los costos del equipo.

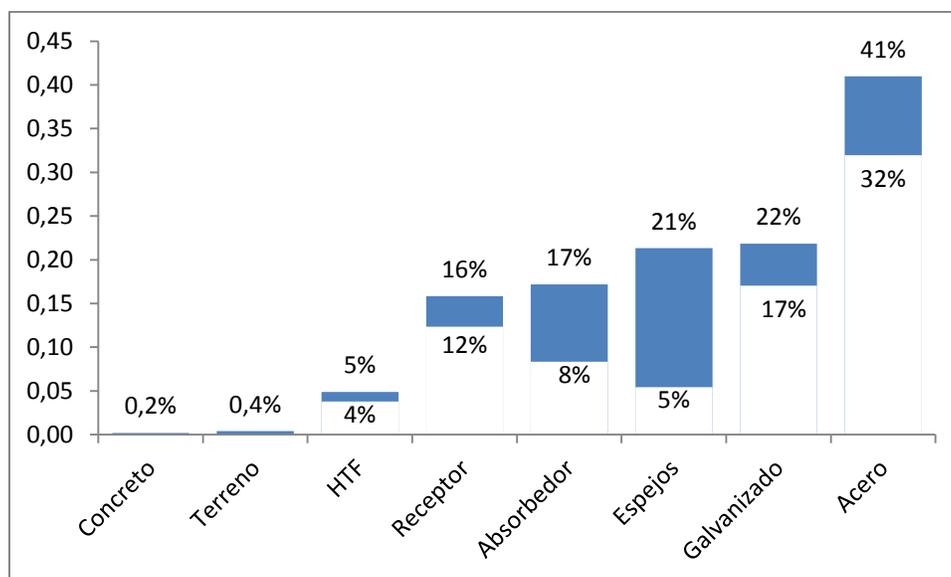


Figura 7. 19. Rango en porcentajes del costo que asociado a cada componente del colector Fresnel

Es importante tomar en cuenta los costos asociados al apropiado funcionamiento de la planta. Considerando el rastreo, cañerías, electrónica y control, intereses por financiamiento y tanques de almacenamiento. Los costos considerados se presentan en la Tabla 7.41.

Tabla 7. 41. Costos adicionales al campo solar para el funcionamiento del sistema Fresnel

Consideración	Detalle	Costo
Balance de Planta	Rastreo, Fluido de transferencia, Pipping, Electrónica	144-257 USD/m ²
Operación y mantenimiento	Principalmente aseo y recambio de receptores y reflectores dañados. Anual, [Cohen 1999]	0.06 USD/KWh al año
Financiamiento	50 a 85% del proyecto	Interés de 8%
Almacenamiento	Tanques	17,99 USD/KW- H
	Bombeo	21,38 USD/KW- H
	Intercambiador de calor	18,84 USD/KW- H
	Instrumentación	1,38 USD/KW- H
	Piping	6,79 USD/KW- H
	Acero estructural	2,40 USD/KW- H
	Aislación	12,92 USD/KW- H
	Concreto	3,53 USD/KW- H
	Medio almacenamiento	0,01 a 48,51 USD/KW- H
	Total	85,03 a 133,53 USD/KW- H
Contratos de construcción (EPC)	Imprevistos	1,2 a 4,2 % del contrato
	Gastos Generales	4,7 a 5 % del contrato
	Utilidad	8,5 a 13 % del contrato
	Total	14,5-21,4% del contrato

Fuente: [145] Wen Zhang.[146] A. Olivares “et al”.

Tomando las consideraciones presentadas en las Tablas 7.35 a 7.40 se procede a describir la estructura de costos para instalar una hectárea de colectores, estructura planteada en la Tabla 7.42. Donde destaca mencionar los costos de reflectores o espejos, absorbedor, y almacenamiento depende de los materiales que se decida emplear, mencionados en detalle en las Tablas 7.34 a 7.36.

Tabla 7. 42. Estructura de costos en las plantas consideradas

Partida	UN	Usado	CLP/unidad min.	CLP/unidad máx.	Promedio	Precio Utilizado	CLP
Acero	Kg	202.578	1.500	2.000	1.750	1.900	384.899.018
Galvani-zado	m2	22.309	9.524	18.604	14.064	9.524	212.474.396
Terreno	m2	13.673	283	283	283	283	3.869.391
HTF	m3	16	2.998.679	3.549.531	3.274.105	2.998.679	47.545.912
Receptor	m	2.060	75.000	75.000	75.000	75.000	154.500.000
Concreto	m3	31	15.000	82.704	48.852	48.852	1.530.501
espejos	m2	10.000	5.800	25.122	15.461	Variable	Variable
Absorbedor	m	2.060	1.526	92.800	47.163	Variable	Variable
Balance de planta	m2	13.672	83.520	149.060	116.290	104.400	1.427.356.800
Almacena-miento	kwh		49.300	77.140	63.220	Variable	variable

Se incorpora además una nómina de sueldos tentativa para el equipo a trabajar en el proyecto de instalación de los colectores, considerando la colocación de 1 hectárea completa de superficie reflectante en 2.5 meses (carta Gantt en Anexos F). Para lo cual se consideran 7 cuadrillas de 35 trabajadores cada una.

Tabla 7. 43. Costos de Mano de obra y costo total por cargo

Cargo	Contra-tados	HH Requerida	CLP/HH min.	CLP/HH máx.	Promedio	CLP/cargo
Capataz	MOD	3	1.476	4.557	8.791	9.559.571
Maestro 1ra	MOD	7	3.444	3.937	6.812	17.556.503
Maestro 2da	MOD	7	3.444	3.229	5.989	14.857.118
Ayudante	MOD	14	6.888	2.704	5.368	25.315.270
Alarife	MOD	7	3.444	2.649	7.952	13.914.984
Rigger	MOD	2	984	4.928	4.929	4.849.391
Operador Equipo Liviano	MOD	2	984	4.564	8.791	5.618.954
Op. Camión	MOD	3	1.476	4.064	7.690	8.555.408
Operador Equipo Pesado	MOD	2	984	6.308	10.902	7.614.394
Soldador	MOD	7	3.444	7.794	9.644	30.034.330

Tabla 7. 44. Costos de Mano de obra y costo total por cargo. Continuación Tabla 7.43.

Cargo		Contra- tados	HH Requerida	CLP/HH min.	CLP/HH máx.	Promedio	CLP/cargo
Gte/Adm.	MOI	1	1.196	13.834	39.376	25.716	30.755.142
Jefe de Terreno	MOI	2	2.392	10.900	30.198	19.890	47.576.221
Jefe Of. Técnica	MOI	2	2.392	10.302	23.375	17.211	41.167.330
Jefe Control de Gestión	MOI	2	2.392	9.640	21.330	15.017	35.920.140
Ing. Programador	MOI	2	2.392	7.786	15.270	10.283	24.597.568
Ing. Control de Gestión	MOI	2	2.392	7.550	12.874	9.107	21.784.372
Sec.Técnico	MOI	2	2.392	3.990	7.952	5.658	13.532.482
Topógrafo	MOI	7	4.676	6.548	15.098	8.631	40.357.105
Nivelador	MOI	2	984	4.316	5.593	4.955	4.875.152
Dibujante	MOI	2	1.336	7.360	7.470	7.415	9.906.251
Control de Doctos.	MOI	4	4.784	4.171	6.918	5.367	25.672.854
Jefe OOC	MOI	2	1.336	5.649	26.648	13.987	18.686.172
Jefe Eléctrico	MOI	2	1.336	8.984	15.270	12.244	16.356.950
Jefe Mecánico	MOI	2	1.336	10.081	18.459	14.803	19.776.221
Superintendente OOC	MOI	2	1.336	10.300	27.671	15.020	20.065.886
Superintendente Montajes	MOI	2	1.336	11.162	12.785	12.379	16.538.047
Jefe de Prevención	MOI	1	844	7.931	17.893	14.716	12.419.722
Jefe de Calidad	MOI	2	2.040	7.370	17.893	12.068	24.618.164
Prevencionista	MOI	4	2.672	2.866	15.098	9.782	26.136.453
Encargado de Medio Ambiente	MOI	2	1.336	5.267	18.129	10.262	13.709.300
Ing. de Calidad	MOI	2	2.040	8.381	14.635	12.126	24.736.422
Ing. Compras	MOI	2	2.040	5.329	10.742	7.852	16.017.577
Contabilidad	MOI	1	1.196	6.790	16.492	8.819	10.546.832
Encargado de Servicios	MOI	2	2.392	5.267	15.779	11.984	28.665.695
Enc. de Personal	MOI	4	4.784	5.267	15.961	8.801	42.104.154
Jefe de Bodega	MOI	2	984	4.098	12.211	7.838	7.712.625
Bodeguero	MOI	4	1.968	2.272	6.958	4.675	9.199.744
Pañolero	MOI	2	984	2.911	7.054	4.544	4.470.990
Pasatiempo	MOI	2	984	2.830	5.051	4.326	4.256.870
Chofer	MOI	4	4.784	2.876	6.046	4.541	21.724.803
Junior	MOI	2	2.040	2.593	4.375	3.300	6.731.666

Fuente: [136] CBC.

Con las consideraciones de la mano de obra se observa que el capital de trabajo del proyecto fluctúa entre un 5% de la inversión total para el comienzo del proyecto, y aumenta hasta un 13% en los periodos de instalación de equipos. Periodo en el cual se cuenta con mayores

Se llega así a que el campo de reflectores primarios entrega el mayor costo a la planta instalada, seguido por los costos en el balance de planta. Se observa que los costos en el almacenamiento térmico son similares a los presentados en el estudio de Irena [147], donde el almacenamiento para instalaciones de cilindros parabólicos involucra entre 9% y 20% de los costos, para 4.5 a 13.5 horas de almacenamiento.

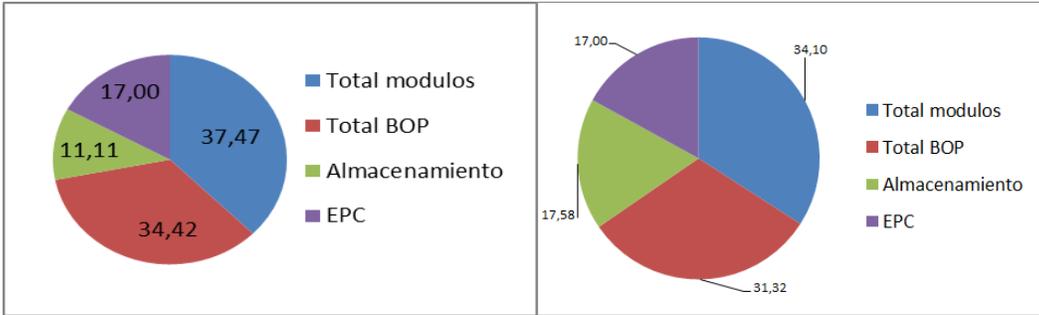


Figura 7. 20. [Izquierda] Distribución costos PTR70 con reflector Optiwhite 4.5 hrs de almacenamiento, [Derecha] Distribución con 13.5 horas de almacenamiento.

Se observa que a mayores tiempos de almacenamiento térmico, Figura 7.20., aumenta la inversión en campos solares, sistemas de balanceo de planta y medios de almacenamiento térmico, llegando a incorporar hasta el 18% de los costos al considerar 13.5 horas de almacenamiento.

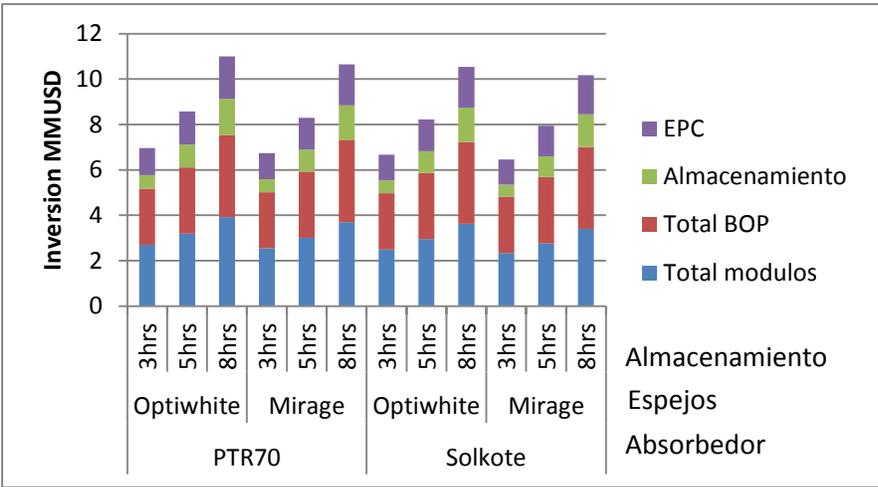


Figura 7. 21. Distribución de costos para distintas configuraciones de almacenamiento.

En la Figura 7.21. se observa en que rango de los costos totales se asocia cada uno de los mayores observaciones del sistema. Observando que la mayor parte de los costos se ve directamente relacionada con el campo solar y el costo en módulos de colectores.

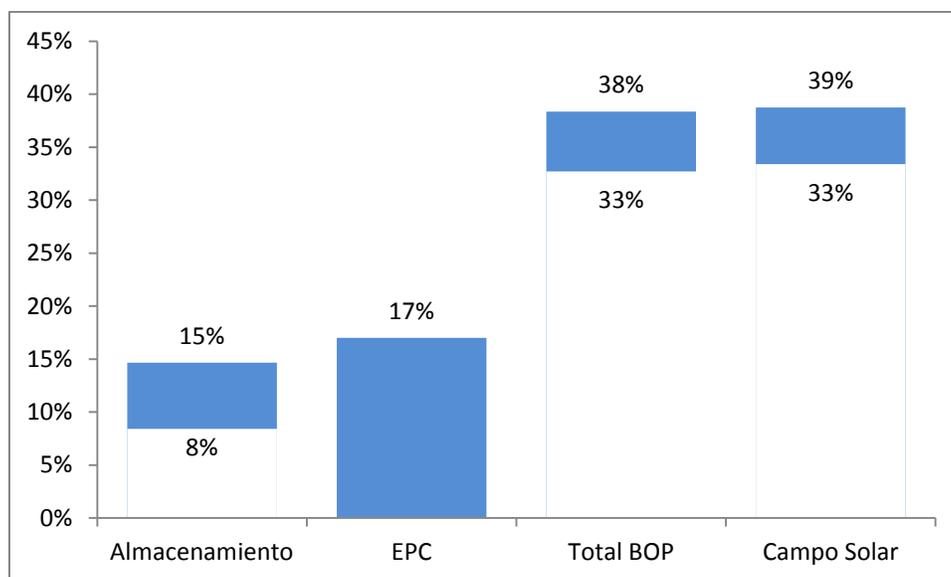


Figura 7. 22. Rango en variabilidad de los costos de la inversión requerida, por partida.

Al comparar los costos del proyecto con los de otras instalaciones alrededor del mundo se observa un menor costo que el asociado a plantas de cilindros parabólicos, pero se percibe que es posible continuar reduciendo los costos para alcanzar la inversión presentada en la planta Fresnel funcional de Puerto Errado.

Tabla 7. 45. Costo de instalación por unidad de superficie de colectores

Proyecto [almacenamiento]	MWh th / 10.000 m ² de espejos	USD/m ² campo colectores	Almacenamiento de 0,5 hrs [USD/m2]	Almacenamiento de 7,5 hrs [USD/m2]
PTR 70 Optiwhite	4,3	150	357	420
PTR 70 Mirage	4,1	142	346	407
PTR 70 Miro Sun	4,3	144	359	422
PTR 70 Reflectch	4,8	159	378	449
Solkote Optiwhite	4,0	139	343	402
Solkote Mirage	3,8	130	332	389
Solkote Miro Sun	4,0	133	344	404
Solkote Reflectech	4,5	148	364	431
Andasol* [7.5 hrs]	5.1	122.35	-	713.72
Puerto errado 2 [0.5 hrs]	5.0	-	255,33	-

Ecuación 1 *Tecnología de Cilindros Parabólicos

Se confecciona un flujo de caja en el cual se utilizan las consideraciones presentadas en las Tablas 7.28, y 7.29, para definir la productividad de un campo solar con 10.000 m² de colectores solares. Se utilizan los precios establecidos en las Tablas 7.31, a 7.36, considerando una vida útil de proyecto a 20 años. Desarrollando el flujo de caja para el proyecto se observa que los precios de equilibrio se mueven entre los 60 y los 90 dólares/MW térmico. Notando el fuerte efecto que tiene el porcentaje de la inversión que los sistemas financieros están dispuestos a prestar sobre el precio de equilibrio.

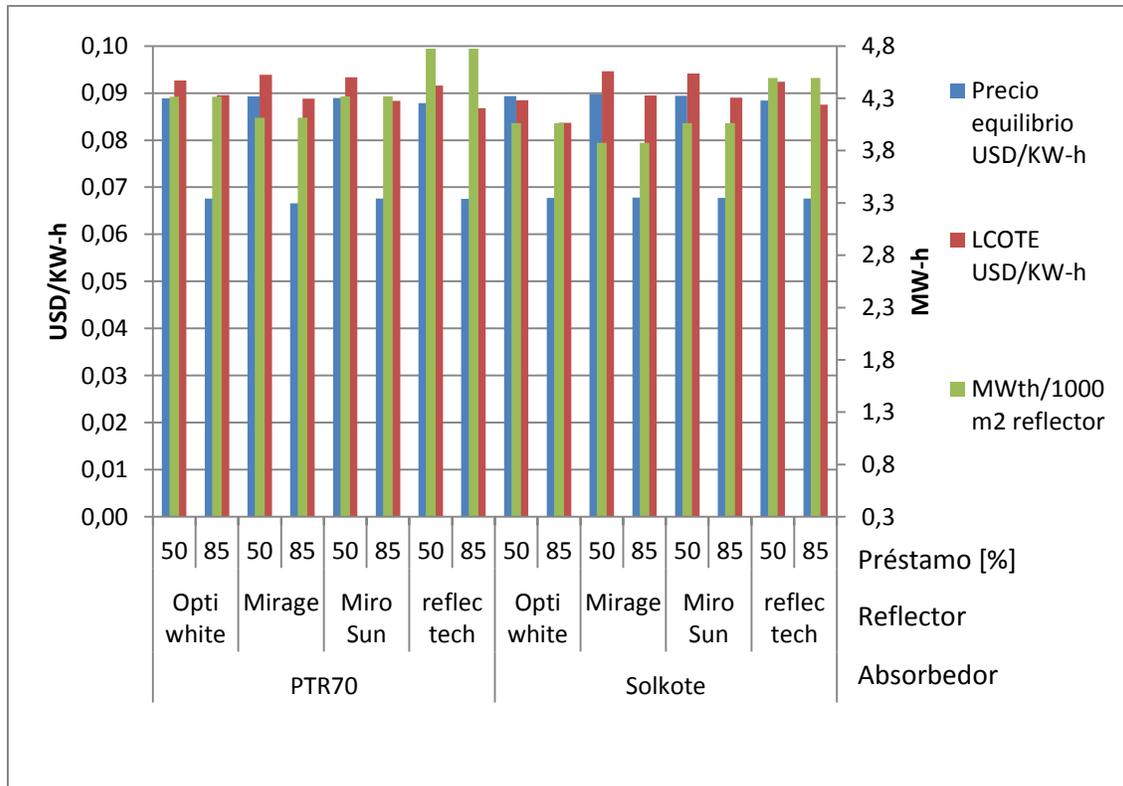


Figura 7. 23 Precios en función de los proyectos económicos y financiamiento, energía generada

Al estudiar como varían los beneficios del proyecto al variar los costos, la tecnología y el porcentaje de financiamiento asociado al proyecto, Figura 7.24, se observan precios de equilibrio entre 60 y 90 USD/MWth-h, con una fuerte dependencia al financiamiento que se pueda obtener.

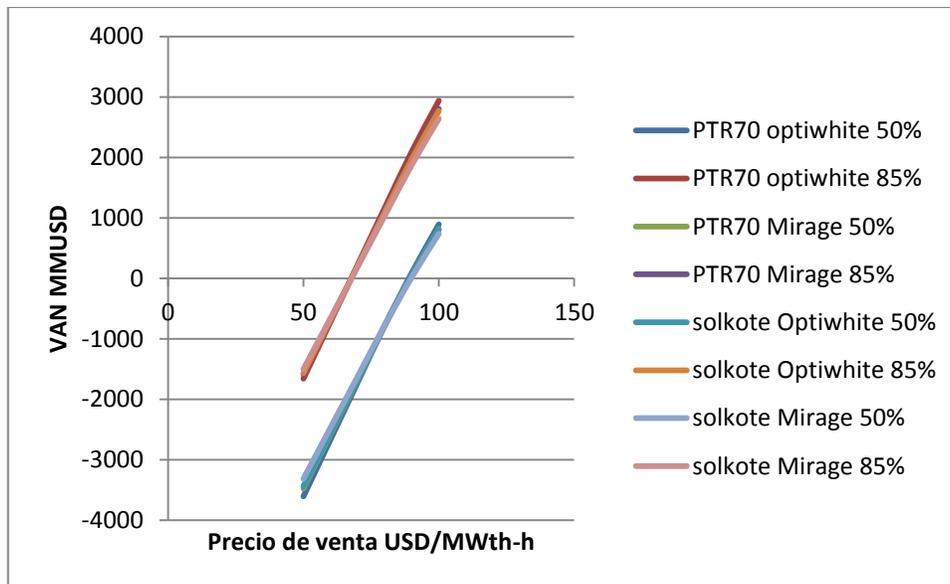


Figura 7. 24. Variación en el porcentaje de financiamiento bancario

Se comparan los costos de la energía térmica en otras naciones usando la Tabla 7.40, en la cual se presentan los costos energéticos para algunos países y Chile. Se observa que en EE.UU. la producción de energía térmica por medio de electricidad resulta más costosa que utilizando la tecnología propuesta. Sin embargo, el precio de venta aún resulta más costoso que al utilizar gas natural como fuente de energía térmica.

Tabla 7. 46. Comparación entre distintas fuentes de energía, regiones y Chile.

Fuente	País	USD/Millón Btu	USD/MW-h térmico
Electricidad	Chile	51,29	175,00
	EE.UU.	30,48	104,00
Fuel Oil N° 6	Chile	12,64 – 16,42	43,12 – 56,05
	EE.UU.	14,72 – 20,44	50,23 – 69,74
Carbón	Chile	2,00 - 6,00	6,82 - 20,47
	EE.UU.	2,28 – 2,39	7,81 – 8,16
Gas Natural	Argentina	3,70 - 7,92	12,62 - 27,02
	Chile	16,53 – 23,79	56,00 - 81,00
	EE.UU.	13,35	46,00
	Perú	2,85 - 3,92	9,72 - 13,37
Promedio *	Chile	202,00 – 214,00	689,25-730,20
	EE.UU.	160,00 – 165,00	545,94-563,00
PTR70-Optiwhite	Estudio	19,82 - 26,04	66,57 - 91,79
PTR70-Mirage	Estudio	19,52 - 26,17	66,59 - 92,38
PTR70-Mirosun	Estudio	19,82 - 26,07	66,56 - 92,08
PTR70-Reflectech	Estudio	19,79 - 25,76	66,54 - 91,10
Solkote-Optiwhite	Estudio	19,84 - 26,19	66,60 - 92,44
Solkote-Mirage	Estudio	19,86 - 26,31	66,62 - 92,81
Solkote-Mirosun	Estudio	19,84 - 26,21	66,59 - 92,52
Solkote-Reflectech	Estudio	19,81 - 25,91	66,56 - 91,56

Fuente: [148] U.S. Energy Information Administration, [149] B. D. Grass. * Asignación del PIB por millón de BTU.

En la Tabla 7.48 se observa cómo se reduce el precio de estabilidad al aumentar el tiempo de almacenamiento. Se aprecia como la importación de productos reduce el precio.

Tabla 7. 47. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento

Financiamiento	PTR Opti-white				PTR Mirage			
	0,5		0,85		0,5		0,85	
Horas de almacenamiento	USD / MBT U	USD / MWt	USD / MBT U	USD / MWt	USD / MBT U	USD / MWt	USD / MBT U	USD / MWt
0	26,04	88,86	19,82	67,63	26,17	89,29	19,84	67,69
2	26,41	90,10	19,72	67,28	26,52	90,51	19,73	67,32
4	26,65	90,94	19,61	66,92	26,77	91,33	19,62	66,96
6	26,83	91,54	19,56	66,75	26,94	91,93	19,57	66,77
8	26,90	91,79	19,51	66,57	27,07	92,38	19,52	66,59

Tabla 7. 48. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento

PTR Miro Sun					PTR Reflectech			
Financiamiento	0,5		0,85		0,5		0,85	
Horas de almacenamiento	USD / MBTU	USD / MWt	USD / MBTU	USD / MWt	USD / MBTU	USD / MWt	USD / MBTU	USD / MWt
0	26,07	88,94	19,82	67,63	25,76	87,89	19,79	67,53
2	26,43	90,18	19,72	67,27	26,13	89,16	19,69	67,20
4	26,67	91,01	19,61	66,92	26,38	90,01	19,60	66,87
6	26,85	91,62	19,56	66,74	26,56	90,63	19,55	66,71

Tabla 7. 49. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento

Solk Opti-white					Solkot Opti clear			
Financiamiento	0,5		0,85		0,5		0,85	
Horas de almacenamiento	USD / MBTU	USD / MWt	USD / MBT U	USD / MWt	USD / MBTU	USD / MWt	USD / MBT U	USD / MWt
0	26,19	89,36	19,84	67,71	26,31	89,77	19,86	67,77
2	26,54	90,57	19,73	67,34	26,66	90,97	19,75	67,39
4	26,79	91,40	19,63	66,97	26,90	91,78	19,64	67,00
6	26,96	91,99	19,57	66,78	27,07	92,37	19,58	66,81
8	27,09	92,44	19,52	66,60	27,20	92,81	19,52	66,62

Tabla 7. 50. Precio de venta de la energía de acuerdo a configuración y tiempo de almacenamiento

Solkote Miro Sun					Solkote Reflectech			
Financiamiento	0,5		0,85		0,5		0,85	
Horas de almacenamiento	USD / MBTU	USD / MWt	USD / MBT U	USD / MWt	USD / MBTU	USD / MWt	USD / MBT U	USD / MWt
0	26,21	89,44	19,84	67,70	25,91	88,40	19,81	67,59
2	26,57	90,65	19,73	67,33	26,27	89,65	19,71	67,25
4	26,81	91,48	19,62	66,96	26,52	90,49	19,61	66,91
6	26,98	92,07	19,57	66,78	26,70	91,10	19,56	66,73
8	27,12	92,52	19,52	66,59	26,83	91,56	19,51	66,56

Como se vio anteriormente, el campo de colectores es uno de los principales factores en la composición de precios del sistema, y observando en detalle los costos del colector se nota que la estructura resulta ser uno de los principales costos del componente. Utilizar módulos alargados, con más espejos y espejos más anchos, reduce aún más los costos del equipo. Esto resulta en una tecnología aún más competitiva y de fácil desarrollo nacional. Como se observa en las Figuras 7.25. y 7.26.

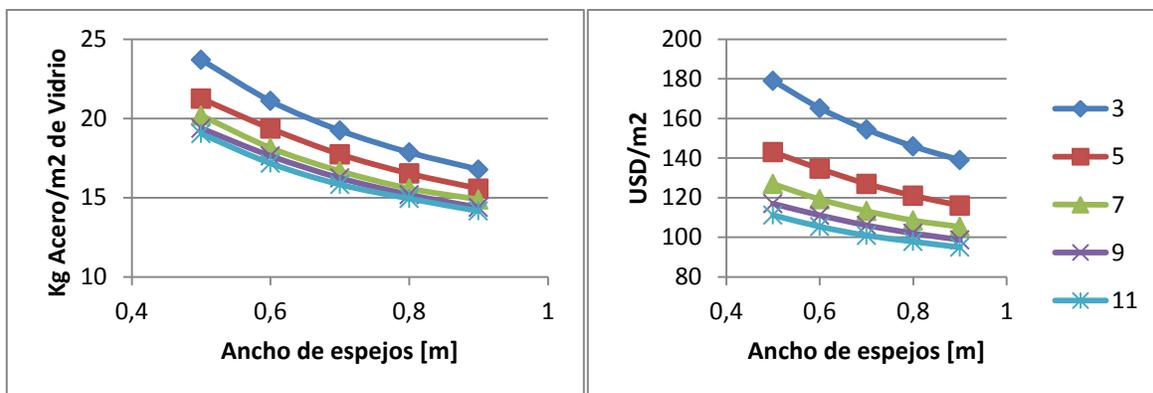


Figura 7. 25. Variación en requerimiento de acero y costos del equipo al modificar el ancho de los espejos.

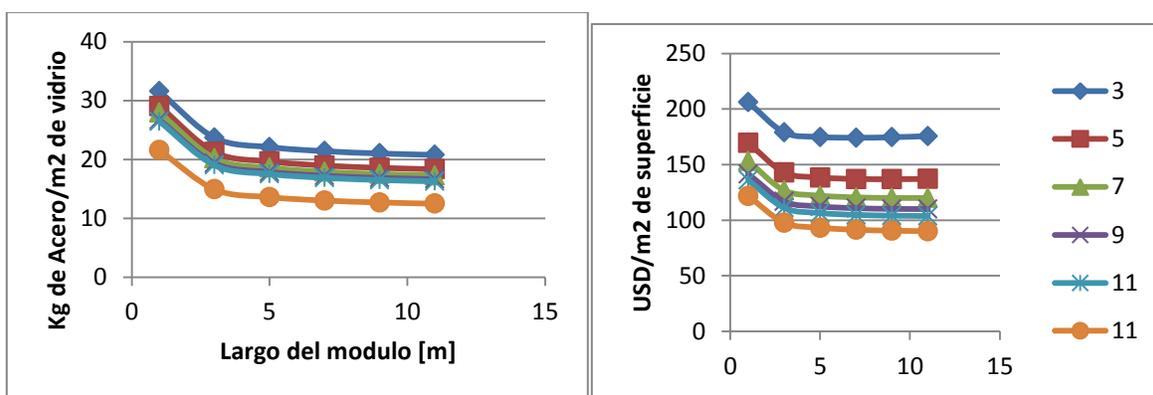


Figura 7. 26 Variación en requerimiento de acero y costos del equipo al modificar el largo de los módulos.

8. Conclusiones

En el presente informe se han estudiado los procesos de manufactura y se han investigado industrias nacionales, buscando proveedores para los distintos componentes del colector Fresnel lineal, intentando crear un vínculo con mercados previamente establecidos. Se encontró que existen empresas nacionales con capacidad de producir los componentes del colector, dando así un nuevo mercado para facilitar, a estas instituciones, alcanzar sus producciones mínimas para asegurar su sustentabilidad económica. Incluso el desarrollo en el área manufacturera aumenta la empleabilidad en la nación.

Se ha observado que Chile cuenta con capacidad para producir componentes asociados con hasta el 85% de los costos del colector, al utilizar absorbedor de Cu-Solkote y espejos usuales producidos por Lirquén. Sin embargo la disponibilidad de componentes de mayor calidad en el mercado internacional dan permite integrar de forma apropiada hasta el 70% de los costos del colector solar Fresnel con productos nacionales. Si se decidiese manufacturar solo los componentes básicos del equipo, es decir preparar la tierra, colocar las fundaciones, y fabricar e instalar la estructura de acero, se cubriría entre el 49 y 63% de los costos del colector con productos y trabajadores nacionales.

La producción de componentes de forma nacional permite reducir la huella de carbono, costes de envío e impuestos asociados a toda importación de productos. Por otro lado, como la operación y mantenimiento se ve orientada a asear y reemplazar componentes dañados, una apropiada cadena de valor nacional aumenta la sustentabilidad energética en la región.

Se ha observado que la utilización de componentes nacionales presenta potencial para generar calor industrial a costos competitivos a nivel mundial, acotando los elevados costos energéticos asociados al cierre de diversas empresas en el país.

Analizando por componentes se observa:

Los reflectores de vidrio: fabricados a partir de vidrio flotado, es un proceso que requiere de una elevada inversión inicial. El país ya cuenta con una línea de producción para 100,000 ton/año de vidrio flotado, cubriendo las necesidades del rubro para arquitectónico y parabrisas vehiculares. Se observó que Chile exporta entorno a las mismas cantidades, de vidrio, que importa, a modo de limitar la variación en las arenas al fundir. Se destaca la dificultad asociada con que la arquitectura requiere de vidrio con mayores contenidos de hierro, que el buscado para instalaciones solares. Cambiar la fórmula del vidrio tarda 5 días y requiere arena con menos de 300 ppm de hierro, recurso que se debe importar.

Se evaluó el proyecto de importar un **equipo removedor de hierro en la arena** e instalar un silo para almacenarla hasta contar con suficiente material para generar un stock anual. Para que el proyecto resultase rentable se requiere asegurar una venta de 4.200 Ton al año, o 420.000 m² de vidrio de 4 mm de espesor, durante 20 años. A dicho ritmo de producción, el mercado local se vería saturado en menos de 15 años. Así se considera poco viable la incorporación del equipo, al menos hasta asegurar la posibilidad de entrar en un mercado mayor.

Para la **deposición de superficie reflectante** se prefiere la deposición física en vacío, en especial el proceso de sputtering. En el país las únicas instalaciones que cuentan con dicha tecnología, que se han podido encontrar, son los observatorios instalados en el norte del país. Dadas las fuertes restricciones de sus sistemas de deposición resulta un potencial cliente, no un proveedor. El país si cuenta con una línea de fabricación de espejos por rocío de nitrato de plata. Vidrios Lirquén tiene intenciones de adaptar su proceso de deposición a tecnologías más verdes y resistentes a ataques ambientales.

Se evaluó la adquisición de equipos para la deposición física por medio de sputtering, considerando proveedores para producción de baja y alta escala. La producción a baja escala requiere la deposición de una capa reflectante de menor espesor que la producción a gran escala para poder ser rentable, limitando la calidad del producto. Los costos de adquisición, para producción a baja y alta escala, presentan dos órdenes de magnitud de diferencia, con los retornos a solo un orden de magnitud de diferencia entre ellas. La demanda requerida para hacer los proyectos rentables son de 20 a 40 mil m²/año, para la baja escala, y cerca de 1 millón m²/año con la tecnología pensada para producción masiva. Cuando se considera la producción a alta escala, se observa que el mercado local se habrá

saturado en tan solo 5 a 6 años, cuando el proyecto se hace rentable a 20 años. Por otro lado se ve muy factible alcanzar la demanda crítica para el proyecto de baja escala, pero dicho proyecto no alcanza la calidad recomendada de 200 nm de espesor.

Para el **plegado de espejos** se encontraron instalaciones prestando servicios a automóviles y arquitectura. Sin embargo las limitaciones técnicas, de los equipos encontrados, exigen plegar el vidrio fuera del rango requerido por el equipo Fresnel y el sistema de deposición de superficies reflectantes en el país. Estableciendo como única alternativa la deformación elástica del espejo.

Para **reflectores de aluminio anodizado** se encontró que el principal proceso requerido involucra plegar debidamente el aluminio, se observó una fuerte sinergia con la industria luminaria, especialmente para la confección del reflector secundario. Las instituciones que fabrican luminarias cuentan de por si con una fuerte conexión comercial a proveedores de calidad internacionales para aluminio con alta reflectancia y durabilidad. Dada la similitud entre las luminarias para para tubos halógenos y el casing del reflector secundario, se puede aprovechar las ya establecidas líneas de producción de las fábricas de luminarias, considerando que incorporar recubrimientos que certifiquen la durabilidad del componente ante ataques ambientales.

En el caso del **absorbedor**, los principales procesos de manufactura involucran recubrir una cañería metálicas con material que aumente sus propiedades de absorción selectiva, de preferencia por medio del proceso Sol-gel. En Chile se encontró solo una empresa con experiencia en la fabricación de sistemas de absorción de energía solar, para media temperatura. La compañía Britec recomendó la utilización de una pintura importada que aumenta las propiedades de absorción selectiva de los materiales, la recomendación se basa en la facilidad de utilizar equipos tradicionales de pintura para realizar la deposición. La empresa Britec también se presenta dispuesta desarrollar casings e instalar reflectores primarios y secundarios, apoyándose en la relación con su proveedor de Tinox: Almeco. Así Britec podría confeccionar completamente el equipo Fresnel. Por otro lado, con el cierre de Madeco, la producción de cañerías de cobre en Chile quedó limitada a unas cuantas empresas como EPC. La mayor parte de la demanda por cañerías de cobre es suplida por medio de importaciones. Así se hace notar que la producción de cilindros absorbedores como un elemento capaz de incentivar la manufactura autóctona de productos cupríferos, con posibilidad para generar un ciclo virtuoso que potencia la manufactura local.

En el caso de la **estructura del equipo**, se encontró que el país enfoca la mayor parte de sus trabajos en acero al área minera y construcción, dejando tan solo un 9% al área industrial y trabajos misceláneos. Sin embargo los procesos de manufactura empleados en la confección de la estructura son equivalentes a los utilizados en el desarrollo de estructuras convencionales. Así las maestranzas dedicadas a trabajar el metal cuentan con los equipos y dominan las técnicas de manufactura asociadas a la fabricación de la estructura. Con un costo que fluctúa entre los 1.500 y 2.000 CLP/Kg de acero trabajado. El país también destaca como uno de los principales galvanizadores en Latino América, con una producción instalada de 200,000 ton/año. El **galvanizado** del acero permite asegurar hasta 27 años de resistencia a los ataques ambientales. Se ha destacado la facilidad nacional

para producir la estructura del colector. La gran amenaza encontrada, para la confección de estructuras a nivel nacional, es la fuerte industria automatizada en Brasil. El hecho de contar con procesos de galvanizado continuo y manufactura automatizada permite a Brasil fabricar estructuras de forma más rápida y económica.

En general se ha observado que producir los componentes del colector de forma nacional es capaz de generar entre 1 y 2 empleos por cada MW-h a producir con colectores Fresnel.

En relación a los componentes que conforman el sistema del colector solar Fresnel se encontró:

Para el **fluido de transferencia térmica**, Chile cuenta con instalaciones de tratamiento de petróleo en las cuales se mezclan derivados del petróleo para fabricar fluidos de transferencia térmica Mobiltherm 603 y 605. Estos fluidos térmicos son utilizados para transferir energía desde calderas a procesos industriales, con gran resistencia a variaciones térmicas. Los fluidos Mobiltherm presentan propiedades similares a otros fluidos térmicos utilizados en la industria solar, pero con menores costos de adquisición. Destaca la dependencia al mercado internacional de materias primas para producir los aceites sintéticos Mobiltherm 603 y 605.

Sistemas de **almacenamiento térmicos**, uno de los principales mecanismos que incentivan la utilización de tecnología CSP es el almacenamiento térmico en sales fundidas, aunque esta tecnología solo opera para elevadas temperaturas. Chile cuenta con el mayor depósito y es el proveedor de nitratos de sodio y potasio en el mundo. La empresa SQM cuenta con los derechos para explotar los yacimientos existentes hasta, cuanto menos, el año 2030. El desarrollo de la tecnología de sales fundidas entrara así un ciclo virtuoso con los recursos naturales de la nación. Sin embargo, las sales solares solo operan por sobre los 300°C. Para el rango de media temperatura, resulta más económico utilizar agua presurizada a 14 Bar. Se hace notar que el agua incluso puede ser empleada en un sistema de almacenamiento activo directo. El agua es tres órdenes de magnitud más económica que la sal solar y almacena tres veces más energía. Sin embargo se estima un costo de 78.500 USD para almacenar 100 m³ de agua presurizada, lo que equivale a 18.5 MW-h, si se llevase el agua desde 190 a 20 °C.

La industria **de intercambiadores de calor** a nivel mundial observa un gran crecimiento, esperando alcanzar un tamaño de más de 21 mil millones de dólares hacia el 2020. Dado que muchos procesos industriales requieren introducir o remover energía térmica, los intercambiadores de calor son ampliamente utilizados. En Chile la industria se ha desarrollado en torno a papeleras, forestales, químicas, centrales térmicas de potencia, minería, lecheras, entre otras, todas industrias que requieren media y baja temperaturas de procesos. Así se observa una gran demanda por intercambiadores de calor, la cual es cubierta por instalaciones autóctonas y extranjeras. En los procesos de manufactura de este equipo destaca la necesidad de soldaduras resistentes, requiriendo soldadores certificados API.

De forma similar a los intercambiadores de calor, las **bombas y válvulas** son utilizadas en diversos sectores industriales, usualmente en todo proceso que requiera controlar el caudal o presión de algún fluido. Una gran parte de la demanda nacional es cubierta por medio de importaciones. Las instituciones nacionales ofrecen en su mayoría servicios de mantenimiento rápido o proveen desde su stock en bodegas. Se ha observado que el principal proceso asociado a la manufactura de bombas es por medio de fundición. Algunas empresas destacan como manufactureras de sus propios artículos, como es el caso de KSB y Válvulas Chile. También destacan las instalaciones de WEIR Chile como sede principal de WEIR Minerals en Latino América, instalación que cuenta con fundición y recubrimiento para bombas en minería. Se ha encontrado escasa experiencia en la producción de bombas para alta temperatura en el país, y las válvulas fabricadas de manera nacional soportan hasta 150°C. Sin embargo instalar las bombas por el lado frío de procesos, e importar materiales especializados para la confección de válvulas, permite la incorporación de los productos nacionales al sistema Fresnel.

Al utilizar la información provista por el software SAM, se observó que es posible concentrar entre 3,8 y 4,2 MW-térmicos/10.000m² de espejos. Sin embargo la utilización de materiales importados permite generar hasta 4.5 MW-térmicos con la misma superficie de espejos. Al incorporar esta información al flujo de caja, considerando la inversión y financiamiento aportado por entidades bancarias, se llegó a que el costo de venta de la energía varía entre 19 y 26 USD/BTU, o 66 y 92 USD/MW-Térmico. El rango encontrado se muestra competitivo con el precio asociado a generar calor por medio de gas natural, en Chile. Se observa que las mejoras en diseños, materiales, gestión y finanzas podrían hacer de los colectores Fresnel una tecnología competitiva en el mercado de energías nacionales y dar al país sustentabilidad energética, llegando a reducir la dependencia del país hacia el mercado internacional de combustibles.

8.1. Recomendaciones

Se hace notar que el presente informe fue preparado con limitados recursos y debiera servir como punto de partida para un estudio de mayor profundidad, en el cual se aumente el número de empresas a consultar. Tras haber observado la posibilidad de integrar industrias nacionales en un nuevo mercado, se hace patente el interés que instituciones dedicadas al desarrollo y sustentabilidad nacional, como CDT, debieran presentar por integrar el colector solar Fresnel a los sistemas de producción.

Para certificar los productos nacionales, se recomienda la instalación de un banco de pruebas en zonas del país donde la tecnología se muestra especialmente rentable. Se sugiere seleccionar algún proceso industrial objetivo, como la lixiviación, y proceder a la instalación de una planta piloto, planta que permita cambiar reflectores y absorbedores con facilidad. De este modo se logra obtener un beneficio productivo junto con observar, en la práctica, la durabilidad y rendimiento asociado a utilizar distintos componentes para el colector Fresnel.

Al cerrar este proyecto se ha observado que Chile presenta capacidad para producir la mayor parte de los componentes estudiados, sin embargo la calidad y durabilidad de muchos de los productos nacionales no ha sido debidamente certificada. Luego se

recomienda importar los cilindros absorbedores, reflectores (primarios y secundarios), bombas y válvulas, a modo obtener mejores rendimientos y durabilidad del sistema. Por otro lado, para cubrir las necesidades de cimientos, estructuras, preparación de superficie, fluidos térmicos e intercambiadores de calor se recomienda hacer uso de los productos y compañías nacionales.

En este informe no se trabajó el rastreo o seguimiento solar, en general Chile no es un productor de motores, sin embargo el país cuenta con una de las principales fábricas de cajas de velocidades empleadas por Renault y Nissan. Se recomienda considerar las instalaciones de Cormecánica para el desarrollo de cajas de velocidades o sistemas similares utilizados para rotar los espejos.

Bibliografía

- [1] Gobierno de Chile, Ministerio de Energía. 2011. Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro. [Presentación PDF] Chile. 23 Páginas.
- [2] Ministerio de Energía, División de Prospectiva y Política Energética. 2013. Balance Nacional de Energía 2012. [Archivo .xls],
<http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/06_Estadisticas/Balances_Energ.html>
- [3] Ministerio de Energía de Chile 2014. Programa de Energía 2014-2018 [En línea] <<http://www.minenergia.cl/barras-de-navegacion/barra-principal/programa.html>> [Consulta: Agosto 2014]
- [4] Corfo. 2013. Concurso Planta de Concentración Solar de Potencia (CSP). [En línea] <<http://www.corfo.cl/programas-y-concursos/programas/concurso-planta-de-concentracion-solar-de-potencia-csp>> [Consulta: Agosto 2014]
- [5] Comisión Nacional de Energía. 2011. Operación Real por Sistema Eléctrico Nacional: 1998 al 2010, SING SIC, Aysén y Magallanes. [Archivo .xls] <http://antiguo.cne.cl/cnewww/opencms/06_Estadisticas/energia/Electricidad.html> [Consulta: Agosto 2014]
- [6] Comisión Nacional de Energía. 2012. Históricos de Precios de Nudo Sistemas Eléctricos Chilenos. [Archivo .xls] <http://antiguo.cne.cl/cnewww/opencms/06_Estadisticas/energia/Electricidad.html> [Consulta Agosto 2014]
- [7] Ministerio de Energía, Centro de Energías Renovables. Agosto 2013. Estado de proyectos ERNC en Chile, Reporte CER.
- [8] CSP Today Business Intelligence, Projects & Market tracker, Febrero 2015. [En línea] <<http://social.csptoday.com/tracker/projects>> [Consulta Febrero 2015]
- [9] A. González G. 2014. Appsol. Potencial de uso de Energía Solar en la Industria Productiva Chilena. En: JORNADA TÉCNICA “Energía para calor y frío en procesos Industriales. Santiago de Chile. Aguasol, Corfo, ACESOL, Ministerio de Energía. 33p.
- [10] Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. 2009. Radiación Térmica. [Archivo .doc] <www.aq.upm.es/Departamentos/Fisica/UD-fisica/RADIACIONweb.doc>
- [11] Liou, K. 2002. An introduction to atmospheric radiation. Segunda Edición. California EE.UU. Academic Press.
- [12] Ministerio de Energía Gobierno de Chile, GIZ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Departamento de Geofísica Universidad de Chile. 2012. Explorador Del Recurso Solar En Chile. [En línea]. <<http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/>> [Consulta: Octubre 2014]
- [13] SolarGis. 2013. World map on Direct normal irradiation, Geomodel Solar 2010-2014. [En línea] <<http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-DNI#C>>. Color.
- [14] Michel de Spot, P. Eng. Julio 2014. Solar Energy & SunMine. [Presentación PDF] Canadá. EcoSmart. 43 diapositivas.
- [15] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. Abril 2013. Mediciones de la radiación solar en el norte de Chile. [Archivo .xls]

- http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/03_Energias/Otros_Niveles/renovables_n_oconvencionales/Tipos_Energia/energia_solar.html
- [16] Muller-Steinhagen, Hans y Trieb, Franz. Stuttgart. 2004. Concentrating solar power. A review of the technology. Ingenia Magazine 18: 43-50.
- [17] K. Gouthamraj, K. Jamuna Rani, G. Satyanarayana. Mayo 2013. Design and Analysis of Rooftop Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator. The International Journal of Engineering and Innovative Technology 11: 66-69.
- [18] Francesco and Vittorio Orioli, Mayo 2011. Parabolic or Fresnel? Soltigua. Energética India 16: 48-50
- [19] U.S. Department Of Energy. Marzo 2014. Home Water Heating. [en línea] <<http://energy.gov/articles/askenergysaver-home-water-heating>> [Consulta: Agosto 2014]
- [20] Eduardo Gálvez Soto, Pedro Roth Urban, Klemens Schwarzer. Diciembre 2002. Desalinizador Solar de Múltiples Efectos a Alta Temperatura: Diseño, Modelación y Simulación. Facultad de Ingeniería, U.T.A (Chile). 11(2): 25-33.
- [21] Fernando Mesa Claros. Octubre 2002. Colector Solar de Placa Plana, Universidad Nacional de Colombia, Open Journal System. 1. 67-77.
- [22] Solar Free. 2008. Colectores de Tubos al Vacío con Tecnología Heat Pipe. [en línea] <<http://www.solarfree.cl/nuestra-tecnologia/conectores.php>> [Consulta: Noviembre 2014]
- [23] Da tu opinión. 2011. Opiniones de Tubo de vacío.[en línea] <<http://www.datuopinion.com/tubo-de-vacio>> [Consulta: noviembre 2014]
- [24] Afinidad Eléctrica. 2007. La energía termo-solar. [en Línea] <<http://www.afinidadelectronica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=189>>. [Consulta Agosto 2014]
- [25] Profesor Roberto Román, Mayo 1998. El motor Stirling. [en línea] <http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_10/strlng1.htm> [Consulta: Agosto 2014]
- [26] DeConstrumatica. Noviembre 2011. Gema solar. Un gran paso hacia la energía termo-solar. [en línea] <<https://www.bloglovin.com/blogs/deconstrumatica-11638015/gemasolar-un-gran-paso-hacia-la-energia-termsolar-2238348115>> [Consulta: Febrero 2015]
- [27] Robert Litwin. Noviembre 2004. Wireless controlled battery powered heliostats for solar power plant application. U.S. patent US 20040231716 A1
- [28] William B. Stine & Michael Geyer. 2001. Power From The Sun. [en línea] <www.powerfromthesun.net/book.html> [Consultado: Agosto 2014]
- [29] Miarroba. Abril 2011. Colector cilindro parabólico. [en línea] <<http://fotos.miarroba.es/luciano2018/3-colector-cilindro-parabolico/>> [Consulta: Febrero 2015]
- [30] Soltigua. Junio 2010. Products > FLT > Working principle. [En línea] <<http://www.soltigua.com/prodotti/flt/working-principle/>> [Consulta: Mayo 2014]
- [31] Kamehameha Schools. Febrero 2012. Spherical, converging and diverging mirrors. [en línea] <http://ks.kumu.net/Units/Waves/Light/WebPages/Content_MirrorsLenses.html> [Consulta: Junio 2014]

- [32] Aula Virtual. Agosto 2003. Lentes de Fresnel. [en línea]. <<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/fresnel/fresnel.htm>> [Consulta: Junio 2014]
- [33] Technet. Agosto 2008. Majáky symbolizují naději, bezpečí i hrozbu. Dnes jako předlety. [en línea] <<http://technet.idnes.cz/>> [consulta Junio 2014]
- [34] The physics classroom. 2001. Image Characteristics for concave mirrors. [en línea]. <<http://www.physicsclassroom.com/class/refln/Lesson-3/Image-Characteristics-for-Concave-Mirrors>> [consulta: Junio 2014]
- [35] Alternative energy zone. Septiembre 2004. Larry Breed's Fresnel Parabolic Reflector. [en línea] <<http://ae-zone.org/2004/09/larry-breeds-fresnel-parabolic-reflector/>> [Consulta: Junio 2014]
- [36] CSP today. Noviembre 2014. CSP projects: The cost of lagging behind schedule [en línea]. <<http://social.csptoday.com/markets/csp-projects-costs-lagging-behind-schedule>> [Consulta: Diciembre 2014]
- [37] Karl Ricks, Bernd Fausten. Erbslöh Aluminium GmbH.. Octubre 2012. Fresnel mirror and method for the production thereof. United States Patent U.S. 8.2992.442 B2.
- [38] Open source ecology. Agosto 2014. Linear Fresnel Solar Concentrator. [en línea] <http://opensourceecology.org/wiki/Linear_Fresnel_Solar_Concentrator> [Consulta: Septiembre 2014]
- [39] New Energy Portal, Word Press. Noviembre 2009. Renewable energy sources , Compact linear Fresnel reflector.[en línea] <<https://newenergyportal.wordpress.com/page/4/>> [Consulta: Julio 2014]
- [40] Rafael Villar Fernández. Febrero 2012. Estudio rendimiento óptico de un captador Fresnel. Proyecto fin de carrera. Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.
- [41] Fabian Feldhoff. 2012. Linear Fresnel Collectors, A technology Overview. En: SFERA SUMMER SCHOOL. Almería, España. DLR. pp. s.n.
- [42] Jia He “et al”. 2012. Optical Design of Linear Fresnel Reflector Solar Concentrators. Elsevier, Energy Procedia, Vol.14: 1960-1966.
- [43] Yunus A. Çengel. 2004. Transferencia de Calor. Segunda edición. México. McGraw Hill
- [44] Strategic Energy Technology Plan, Scientific Assessment in support of the materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies: Concentrating Solar Power Technology. 2011. Por Peter Heller “et al”. Por parte de: European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport. Luxemburgo. Oficina de publicaciones de la Unión Europea.
- [45] C.E. Kennedy. 2007. Advances in Concentrating Solar Power Collectors: Mirrors and Solar Selective Coatings, En: 21st Vacuum Web Coating Conference. 8-10 de Octubre. EE.UU. Scottsdale, AZ. AIMCAL. National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- [46] Spectra-Physics. 2014. Metallic Reflector Coatings Catalogue.
- [47] Industrial Touch Display. Marzo 2013. Optical Bonding Technology. [en línea] <<http://www.itd-tech.com/tx2.asp>> [Consulta: Octubre 2014]
- [48] Wikipedia. Mayo 2011. Fresnel equations. [en línea] <http://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_equations> [Consulta: Octubre 2014]
- [49] Antonio Gavilán Morales, 2007. Proyecto fin de Carrera. Desarrollo del programa de simulación para el cálculo de distribución de flujo radiante sobre receptor y fenómeno de

- desbordamiento a partir de una caracterización óptico-geométrica en un sistema de concentración solar disco Stirling. Sevilla. Departamento de Ingeniería Energética, Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. 25-50p.
- [50] Max Mertins. 2009. Technische und wirtschaftliche Analyse von horizontalen Fresnel-Kollektoren. Tesis para alcanzar el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Alemania. Universität Karlsruhe. 23p.
- [51] P.K. Sen “et al”. 2013. Linear Fresnel mirror solar concentrator with tracking. Elsevier Procedia Engineering, 56: 613-618.
- [52] Yanhua Lai “et al”. 2013. Thermal Performance Prediction of a Trapezoidal Cavity Absorber for a Linear Fresnel Reflector. Advances in Mechanical Engineering Journal. 5: 7-13.
- [53] K. D. Masterson. 1977. Selective surfaces for solar-thermal conversion, Journal of solid State Chemistry 22(1): 41-49.
- [54] J.M. Martínez-Val “et al”. 2011. Receptor para central solar con espejos longitudinales. Patente solicitada WO2011151483 A1.
- [55] Guillaume P. Butel “et al”. 2011. Second-Surface Silvered Glass Solar Mirrors of Very High Reflectance. SPIE proceedings 8108.
- [56] Steen-Nilsen Dyngje A. y Stoveland A. O. 2013. Optical Modelling for Photovoltaic Panels. Tesis de Magister en Ingeniería y Ciencias. Noruega. University of Agder. 52p.
- [57] Unión Europea. Commission Regulation. 2013. Imposing a provisional anti-dumping duty on imports of solar glass from the People’s Republic of China. Official Journal of the European Union, 26 November 2013.
- [58] Abrisa Technologies 2012. Speciality Glass Products Technical Reference Document. [Ficha de referencia técnica]. California EE.UU. 5p.
- [59] James B. Heaney. 1974. Evaluation Of Commercially Supplied Silver Coated Teflon For Spacecraft Temperature Control Usage. Reporte institucional. Maryland EE.UU. NASA.
- [60] Jorgensen G. Williams T. Wendelin T. 1994. Advanced Reflector Material for Solar Concentrators, En: SIMPOSIO de Tecnologías de Concentración Solar Termal. Moscú Rusia. NREL.
- [61] Dr. Schmauder T. Dr. Küper S. Wohlfahrt P. 2009. High Reflective Silver Coatings on 3D Plastic Parts for Solar Concentrators, En: 52nd Annual Technical Conference – Society Of Vacuum Coaters. Albuquerque EE.UU. Leybold Optics. 473-477 pp.
- [62] Layertec. Metallic Coatings. Diciembre 2009. [en línea] <<http://www.layertec.de/en/capabilities/coatings/metallic>> [Consulta: Julio 2014]
- [63] Echazú R., Cadena C. y Saravia L. 2000. Estudio de Materiales reflectivos para concentradores solares, ASADES 2000. Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires.
- [64] Fabienne Sallaberry, Enric Mateu Serrats. 2012. Topic report for WP2 Solar Thermal Collectors Concentrating / tracking collector component characterization. CENER [en línea]
- [65] S Fawell B. Sc. 2009. Magnetic Separation in Sand Processing, Reporte institucional. Reino Unido. Eriez.
- [66] Pilkington. The Float Process. 2002. [en línea]

- <<http://www.pilkington.com/pilkington-information/about+pilkington/education/float+process/default.htm>> [Consulta: Septiembre 2014]
- [67] AGC Glass, Float glass & technology. Mayo 2013. [en línea] <<http://www.agc-glass.eu/English/Homepage/Products/Float-glass-technology/page.aspx/958>> [Consulta Septiembre 2014]
- [68] Jan Belis “et al”. 2007. Cold Bending of Laminated glass Panels. Heron Journal 52(1/2): 123-146.
- [69] 3MTM. Enero 2012. Solar Mirror Film 1100, Application Guide. [Guía de montaje] EE.UU. 3M. 2/12 8452 HB.
- [70] Rutgers CLD Facility. Junio 2012. Formation of a silver mirror on a glass surface.[En línea] <<http://cldfacility.rutgers.edu/content/formation-silver-mirror-glass-surface>> [Consulta: Septiembre 2014]
- [71] Hans Joachim Glaser. 2001. Large Area Glass Coating. Von Ardenne Anlagentechnik.
- [72] R. Almanza “et al”. 1995. Further Option for solar Concentrators: Aluminium first Surface mirrors. Elsevier Solar Energy, 54(5): 333-343.
- [73] Almanza R. y Martínez I. 2012. Solar Power, Capítulo 6, Solar Mirrors. Croacia, InTech. 79-102pp.
- [74] Thomas Paul para Ingo Susemihl. Flachglas. Octubre 1993. Interference layer to reduce near UV radiation transmitted to glass. United States patent US 5253105 A.
- [75] Midwest Reserch Institute, SERI. Junio 1985. Silver/Glass Mirrors for solar thermal systems. EE.UU. U.S. Government Printing Office.
- [76] Choundhury C. y Shegal H.K. 1989. Chemical Vapor Deposited SnO_s;Sb Heat Mirrors Coatings for Cylindrical Solar Collectors. Energy Convers, Manage 29: 265-272.
- [77] Emma Hughes. The quartz Corp. 2013. Projects in the pipeline. High purity quartz: a cut above. Industrial minerals, Diciembre 2013: 22-25.
- [78] British Geological Survey. 2009. Silica sand, Mineral planning Fact Sheet. [Reporte de planificación minera], Reino Unido, Crown. 10 páginas a color.
- [79] K. Devlin. 3 de Febrero 2014. Brave New World of Glass. [en línea] <<http://glassmagazine.com/article/commercial/brave-new-world-glass-1412178>> [consulta: Septiembre 2014]
- [80] Glasstech. 2011-2012. Solar Glass systems, Solar CRB-S, DB4-S, CRB-S 1900 for Solar Parabolic Shapes. [Panfletos técnicos] EE.UU. China. India. Tres panfletos de dos planas a color.
- [81] Heraeus. Enero 2009. Sputtering Targets & Markets. [En línea] <http://heraeus-targets.com/en/products_1/applications_overview.aspx> [Consulta: Octubre 2009]
- [82] ACA. Marzo 2009. Product Specification Document: SolaPlate-Clad ProtectAL, SolaGold. [Especificación de Productos] EE.UU. Panfletos de 1 a 2 páginas a color.
- [83] AGC Solar. 2011-Agosto 2012. AGC Solar Products 2011, Solar mirror thin, Solar mirror thick. [Catálogo de productos, descripciones técnicas de productos]. Bélgica. Panfletos de 2 a 6 páginas a color.
- [84] Alanod Solar. 2010 - Mayo 2013. Alanod, Solar, Surface. Alanod Solar Miro-Sun. [Catálogo de productos y descripción técnica de productos] Alemania. Catálogos de 12 a 20 páginas a color.

- [85] Almeco. 2013-Julio 2014, Tinox Tube, Vega Prime, Vega Energy, Vega Energy HT, Vega Flex. [Panfletos y descripción técnica de productos] Alemania. Documentos de 2 a 8 páginas a color.
- [86] Indexmundi. 2012. Chile imports by Commodity in US Dollars – Float glass and Surface ground or polished glass, in sheets-yearly. [Detalle en línea] <<http://www.indexmundi.com/trade/imports/?country=cl&subchapter=7005>> [Consulta: Julio 2014]
- [87] World Steel Association. 2008-2014. World Steel in Figures 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014. Bélgica. World Steel Association.
- [88] Vidrios Lirquén. 2005. Catálogo de productos Vidrios Lirquén, 2005 [Catálogo de productos y notas técnicas] Chile. Vidrios Lirquén. 12 páginas a color.
- [89] Pilkington. 2014. Handbook. Polonia. Pilkington Polska 106-109 pp.
- [90] ASTM International. 2010. Standard Test Method for Copper-Accelerated Acetic Acid-Salt Spray (Fog Testing (CASS Test). [Norma Internacional] EE.UU. B368-09.
- [91] Almeco. 2008. S090 Estándar Especular. [Información técnica] Italia. Almeco Spa. Impresión en blanco y negro entregada solicitada en Lámparas Chile.
- [92] Lámparas Chile Ltda. 2013. Catálogo General de Iluminación. [Catálogo con información técnica] Chile. Lámparas Chile. 38 páginas a Color.
- [93] Industrial Solar. 2010. Technical Data Industrial Solar linear Fresnel collector LF-11. [Información técnica] Alemania. Industrial Solar. Panfleto de 4 páginas.
- [94] A. Heimsath “et al”. 2014. Linear Fresnel Collector receiver: Heat loss and temperatures. Elsevier Energy Procedia 49: 386-397
- [95] Burkholder F. y Kutscher C. 2009. Heat Loss Testing of Schotts 2008 PTR70 Parabolic Trough Receiver. EE.UU. NREL.
- [96] Kutscher C., Burkholder F. y Netter J. 2011. Measuring the Optical Performance of Evacuated Receivers via Outdoor Thermal Transient Test. En: SIMPOSIO INTERNACIONAL SolarPACES 2011. Granada, España. NREL. 10p.
- [97] E. Mateu “et al”. 2011. Optical Characterization test bench for parabolic trough receivers, En: SIMPOSIO INTERNACIONAL SolarPACES2011, Granada, España. CENER.
- [98] John H. Henninger. 1984. Solar Absorptance and Thermal Emittance of some common spacecraft’s thermal-control coating. [Publicación institucional de referencia] EE.UU. Nasa. 46 páginas mecanografiadas.
- [99] The Engineering Toolbox. 2014. Thermal conductivity of some common materials and gases [en línea] <http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html> [Consulta: Noviembre 2014]
- [100] Okitsumo. 2010. Solar Paints product. [en línea] <http://www.okitsumo.co.jp/e01_products/14.php> [Consulta: Octubre 2014]
- [101] Solar mirror. 2005. Table of absorptivity and emissivity of common materials and coating. [en línea] <<http://www.solarmirror.com/fom/fom-serve/cache/43.html>> [Consulta: Octubre 2014]
- [102] C.E. Kennedy. 2002. Review of Mid-to-High- Temperature Solar Selective Absorber Materials. [Reporte Técnico] EE.UU. NREL. NREL/TP-520-31267

- [103]Ernst & Young et Asociés, Fraunhofer ISE, Fraunhofer ISI. 2011. Middle East and North Africa Region Assessment of the Local Manufacturing Potential for Concentrated Solar Power (CSP) Projects. EE.UU. MENA y Unión Europea. El Banco Mundial. 5-100pp
- [104]N. Selvakumar y H. C. Barshilia. 2012. Review of physical vapor deposited (PVD) spectrally selective coatings for mid and high temperature solar thermal applications. Elsevier Solar Energy Materials and Solar Cells 98: 1-23
- [105]Sunda. 2013. Tubo Receptor [en línea] <<http://www.solarproductmaker.es/1-4-receiver-tube.html>> [Consulta Septiembre 2014]
- [106]Corporación de Desarrollo Tecnológico. 2010. Anuario Solar 2011. Chile.
- [107]Almeco Group. 2005. Product specifications Tinox Energy. [En línea] <http://www.almecogroup.com/uploads/1117-Specification TiNOX_energy_EN_RD_V020614_rev1.pdf> [Consulta: Octubre 2014]
- [108]K. McEnaney. 2010. Modeling of Solar Thermal Selective Surface and Thermoelectric Generators, Tesis de Magister de Ciencias en Ingeniería Mecánica. EE.UU. Massachusetts Institute of Technology. 75p.
- [109]Britec. 2012. Observaciones generales colector Britec. [Informe de ensayo técnico] Chile. Silan Ingenieros S.A. IPC-CST-002-2012,
- [110]Solec. 2011. Solkote technical specifications. [en línea] <<http://www.solec.org/index.php/solkote-selective-solar-coating/solkote-technical-specifications/>> [Consulta Noviembre 2014]
- [111]M.L. Brooks, I. Mills y T.M. Harms. 2006. Performance of a parabolic through solar collector. Journal of Energy in Southern Africa. 17(3):71-80p.
- [112]J. Muñoz “et al”. 2014. Going further with Fresnel receiver: new design window for direct steam generation. Elsevier Energy Procedia 49: 184-192pp
- [113]Grupo del Banco mundial, ESMAP. 2011. MENA Local Manufacturing Chapter 1. [Libro en línea] <https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/DocumentLibrary/ESMAP_MENA_Local_Manufacturing_Chapter_1.pdf> [Consulta: Octubre 2012]
- [114]Photonics Spectra. Anne L. Fischer Febrero 2009. From Autos to Solar. [Artículo en línea] <<http://www.photonics.com/Article.aspx?PID=5&VID=42&IID=297&Tag=GreenLight&AID=36470>> [Consulta: Noviembre 2014]
- [115]Asimet. Julio 2014. Perspectivas en el Mercado del acero. [Estudio] Chile. F & K Consultores.
- [116]Alacero. Septiembre 2013. Chile: Estudio revela contraste entre estancamiento de industria metalmeccánica y crecimiento de economía nacional. [Comunicado de Prensa] Chile. Alacero.
- [117]Banco Central de Chile. 2014. Indicadores de Comercio Exterior, Tercer trimestre 2014. Gerencia de Asuntos Institucionales.
- [118]CDT, CCHC y Asesorías CALIBRE, Abril 2013. Análisis de la productividad en Obras de Edificación en Chile. Chile. CDT. 24p.
- [119]David Vela. 2013. Programa de Desarrollo de Mercado para Centro y Sudamérica. En: SEMINARIO DE Galvanizado General Latinoamérica. Guatemala, Colombia y Ecuador. LATIZA. 52p.

- [120]B. Bosch. Septiembre 2006. Especificación Técnica para Galvanizado por Inmersión en Caliente de Materiales Generales. [Informe Institucional] Chile. B.Bosch. Informe a dos páginas. s.n. Registro.
- [121]U.S. Department Of Energy. Mayo 2013. Heat transfer fluids for solar water heating systems. [en línea] < <http://energy.gov/energysaver/articles/heat-transfer-fluids-solar-water-heating-systems>> [Consulta: Noviembre 2014]
- [122]Eduardo Andrés Chandía Abuín. 2012. Análisis Técnico-Económico de una central Solar termoeléctrica con almacenamiento térmico. Tesis de Magister en Ingeniería Mecánica. Santiago, Chile. Universidad de Chile.
- [123]Daniel Serrano García. 2012. Cálculo, diseño y análisis de una central termo solar de colectores cilíndrico-parabólicos operando con sales fundidas. Proyecto final Ingeniería Industrial. Madrid España. Universidad Carlos III de Madrid.
- [124]A. Gil “et al”. 2010. State of the art of high temperature storage in thermosolar plants. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14(1): 31-55.
- [125]M. Ulf Herrmann, D. Kearney. 2002. Overview on Thermal Storage System. En: WORKSHOP ON Thermal Storage for Trough Power Systems. Colorado, EE.UU. NREL y FLABEG. 23p.
- [126]Gabbrielli R. y Zamparelli C. 2009. Optimal Design of a Molten Salt Thermal Storage Tank for Parabolic Trough Solar Power Plants, Journal of Solar Energy Engineering.131(4): 10pags
- [127]Universidad de Valladolid, Dpto de Ingeniería Energética y Fluido-mecánica. 2011-2012. Intercambiadores de Calor. En: CURSO DE Termodinámica y transmisión de calor. Valladolid, España. Universidad de Valladolid. 35p.
- [128]S. Kakac. 1991. Boilers, Evaporators and condensers, USA. John Wiley & Sons, Inc. 148p.
- [129]Funke. 2013. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos, Modelos en serie y soluciones específicas para el cliente. [Catalogo técnico] Alemania. Funke Wärmeaustauscher Apparatebau. ES0813
- [130]Markets&Markets. 2014. Heat Exchanger Market by Type (Shell & Tube, Plate & Frame, Air Cooled, Printed Circuit), by Application (Chemical, Petrochemical, Oil & Gas, HVACR, Food & Beverage, Pulp & Paper, Power Generation), Classifications (MoC, Temperature Range & Fluid Type) and Geography, Trends & Forecast to 2019. [reporte en línea] <<http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/heat-exchanger-market-750.html>> [Consulta: Diciembre 2014]
- [131]R. Reidy. 2006. Profile of the international Pump Industry. Market Prospects to 2010. 6th edition. Reino Unido. Elsevier .
- [132]Michael C. Headley. 2003. Guidelines for selecting the proper valve characteristics. Valve Manufacturers Association. 15(2): 1:6
- [133]L. Almström y C. Söderström. 2010. Alternative materials for high-temperature and high-pressure valves. Proyecto de Magister en Ingeniería Mecánica. Suecia. Karlstads Universitet. 14-18 p.
- [134]The McIlvaine Company. 2011. Air Pollution Markets Will Grow Faster than GDP. [en línea]

- <<https://home.mcilvaineconomy.com/index.php/component/content/article?id=218>>
[Consulta Noviembre 2012]
- [135] Wageindicator organization. Febrero 2015. Wages in context. [en línea] <www.wageindicator.org> [Consulta Febrero 2014]
- [136] CBC. 2012. Remuneración de mano de obra directa e indirecta en la industria de la construcción y montaje para proyectos mineros. [Estudio de mercado] Chile. CBC. 68 paginas.
- [137] Heraeus. 2009. Sputtering Target for glass coating. [en línea] <http://heraeus-targets.com/en/products_1/glass/Glass.aspx> [Consulta Noviembre 2014]
- [138] Kurt J. Lesker, Octubre 2014. Sputtering Targets. [ventas en línea] <http://www.lesker.com/newweb/menu_depositionmaterials.cfm?section=target&init=skip> [Consulta Octubre 2014]
- [139] INE. 2009. Remuneraciones y Costos Medios Informe Anual 2007. Departamento de Imagen Corporativa, INE. Chile. 98p.
- [140] Samar Obaid. 2012. Investment overview. [Estudio general] Ernst & Young. 7 páginas.
- [141] F. Fernandez Cañas. 1998. Estimación rápida del precio de un tanque de almacenamiento. Revista Ingeniería Química – Diciembre 1998: 91-93
- [142] ECTA, Cefic. 2011. Guidelines for measuring and managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations. Responsible Care. Bélgica. CEFIC. 9 p.
- [143] Cambridge Systematics. 1995. Characteristics and Changes in Freight Transportation Demand. Washington D.C. EE.UU. Cambridge Systematics, Inc. F-18.
- [144] J. Montoya, F. Vega Pinto. 2010. Cimentaciones. Reporte de Geotecnia. Merida, Venezuela. Universidad de los Andes.
- [145] Wen Zhang. 2009. Concentrating Solar Power – State of the art, cost analysis and pre-feasibility study for the implementation in China. Diplomado Energía y Medio ambiente II. Universität Stuttgart Institut für energiewirtschaft und rationelle energieanwendung. 55-62p.
- [146] A. Olivares “et al”. 2013. Guía de Gestión Aspectos claves en el desarrollo de proyectos ERNC. Chile. Morales & Besa. Gobierno de Chile, Ministerio de Energía. Corfo. 77 p.
- [147] IRENA. 2012. Renewable Energy technologies: Cost analysis series. Concentrating Solar Power. Unión Europea. IRENA. 13-20 p.
- [148] U.S. Energy Information Administration. 2012. Annual Energy Review 2011. EE.UU. U.S. Government Printing Office. 390p.
- [149] B. D. Grass. 2013. Evaluación y diseño para la implementación de una planta de biogás a partir de residuos orgánicos agroindustriales en la región metropolitana. Memoria de Ingeniero Civil Industrial. Chile. Universidad de Chile. 22 p.
- [150] Ettliger E., Giordano P. y Schneermann M. ESO y Linde. 1999. Performance of the VLT Mirror Coating Unit. The Messenger Journal. 97: 4-8.
- [151] M. E. Flóres y J. L. Ruiz. 2009. La Galvanización en Caliente. Monografía. España. APTA. 12-17p.
- [152] R. Vera “et al”. 2013. Mapa de corrosión Atmosférica de Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Color.

- [153]Petroleum Service Company. Febrero 2001. Mobiltherm 603 heat transfer oil. [compra en línea] < <http://www.petroleumservicecompany.com/mobiltherm-603.html>> [Consulta Octubre 2014]
- [154]Petrogas lubricants. Julio 2011. Mobiltherm 605. [compra en línea] <<http://www.petrogaslubricants.com.au/p-497-mobiltherm-605-2081.aspx>> [Consulta: Octubre 2014]
- [155]ExxonMobil. Junio 2002. Mobiltherm 603 aceite para transferencia de Calor. [Panfleto técnico] México. ExxonMobil México S.A. Panfleto de dos páginas a color. HIPI-020.
- [156]ExxonMobil. 2009. Mobiltherm 605 aceite para transferencia de Calor [Panfleto técnico] Argentina. ESSO petrolera Argentina S.R.L. panfleto de una página a color.
- [157]Duratherm Heat Transfer Fluids. Septiembre 2011. Compare Industry Fluids. [Tabla dinámica en línea] <<http://www.heat-transfer-fluid.com/resources/compare.php>> [Consulta: Octubre 2014]
- [158]I.S.T. Italia Sistemi Tecnologici. Marzo 2006. Manual de Instrucciones uso y mantenimiento de Regenerador de disolventes N Digit IST 90. [Instructivo de producto] Italia. I.S.T. COD. DSTLI00052.04
- [159]Eastman con Solutia. Febrero 2001. Therminol 62, 66, vp-1. Heat transfer fluid. [En línea] <<http://www.therminol.com/products/>> [Consulta: Octubre 2014]
- [160]Radco. 2009. Selecting a Proper Pump for Your Application. [en línea] <<http://www.radcoind.com/tech-tips/selecting-a-pump-for-your-heat-transfer-system/>> [Consulta Diciembre 2014]
- [161]<http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-ROORKEE/strength%20of%20materials/lects%20&%20pics/image/lect12/lecture12.htm>

Anexos

Anexo A: Observaciones de reflectores

Procedimiento de deposición de superficie reflectante en Paranal

El observatorio Paranal operado por ESO, cuenta con una unidad depositadora de películas de aluminio. La unidad incorpora los equipos descritos en la Tabla Anexos 1, y la Figura Anexos 1, presenta el arreglo de los equipos:

Tabla Anexos 1. Equipos utilizados para depositar superficie reflectante en observatorios

Equipo	Descripción
Cámara de vacío	Diámetro mayor a 9m y 122m ³ de volumen interior.
Bombas de vacío	Bombas de aproximación, 8 cryo bombas para alto vacío y una trampa Meissner.
Soporte estructural	Una estructura integrada con soportes para mantener el espejo en posición durante la deposición de aluminio.
Sistema de rotación	Encargado de girar el espejo durante la deposición por sputtering. Incorporado con sello ferro fluido.
Carro de deposición	Utiliza un colchón de aire para manejar la sección inferior y sistemas de levante, y para cerrar la cámara de vacío una vez que se haya cargado el espejo.
Fuente de sputering	Incluido con sistema de cierre enfriado por agua y escudos criogénicos.
Equipo para limpiar por descarga radiante.	Caliente y limpia el espejo, previo a la deposición.

Fuente: [150] Ettliger E., Giordano

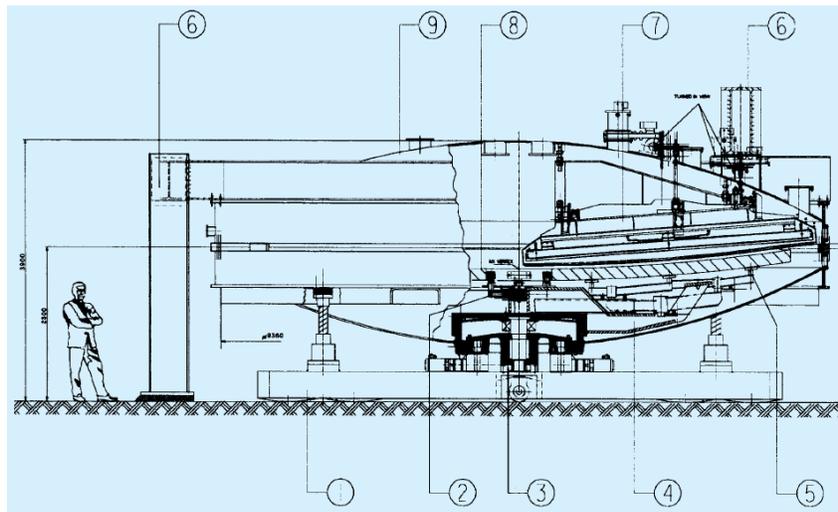


Figura Anexos 1. Presentación de los principales componentes del equipo para recubrir el reflector, 1. Carro para trasladar el espejo, 2. Cojinetes laterales, 3. Sistema para rotar el espejo, 4. Sistema estructural para soportar el espejo, 5. Cojinetes axiales, 6. Marco del soporte, 7. Magnetron, escudo y cierre, 8. Espejo M1, 9. Vasija para vacío. [89]

El procedimiento de deposición empleado en el observatorio es por sputtering de magnetron, el mismo empleado para depositar elementos reflectantes sobre substratos para

producir espejos de concentración solar. La secuencia consiste en insertar el espejo en un ambiente vacío, el cual contiene un cátodo y un gas de proceso inerte. Se aplica una carga negativa al cátodo y una descarga de plasma se enciende dentro de la cámara. Las cargas positivas en el plasma se ven atraídas al cátodo (cargado negativamente) golpeando el objetivo con suficiente intensidad para ejecutar partículas del material y depositarlas sobre la superficie del espejo.

La diferencia entre el cátodo de magnetrón y el de diodo, es que detrás del objetivo se coloca un campo magnético, confinando los electrones a estar cerca del objetivo. Esta técnica permite aumentar diez veces la velocidad de deposición.

La Tabla Anexos 2 detalla el procedimiento empleado para depositar la película reflectante:

Tabla Anexos 2. Descripción del proceso de deposición. [89]

Proceso	Descripción
1 Ambiente vacío	Se carga el espejo sobre la estructura y se vacía la cámara hasta alcanzar menos de 0.001 Pa
2 Ambiente sobre presurizado	Se inyecta aire hasta alcanzar 2 Pa, por medio de las Cryo Bombas.
3 Proceso de limpieza por descarga radiante.	Se utilizan dos electrodos de aluminio, con la forma requerida para alcanzar la geometría del espejo deseada. Los electrodos cargan el aire y se utiliza el plasma generado para eliminar polvo y humedad absorbida por el espejo y las paredes de la cámara. El procedimiento también calienta la superficie, mejorando la adhesión de la película.
4 Vaciado del aire	Una vez que el espejo a completado una revolución, se vacía la cámara hasta menos de 0.0002 Pa, en menos de 10 minutos.
5 Inyección de Argón	Se inyecta aire en la cámara hasta alcanzar una presión de 0.08 Pa.
6 Deposición	Se cierra un circuito de menos de 1000 Volts (DC) en la atmósfera, generando el plasma y logrando la deposición.
7 Recorte	Se hace girar el espejo, pasando completamente por el equipo de deposición. Por la entrada y salida del equipo, se colocan paneles de cierra, fabricados con acero inoxidable. Los paneles remueven los excesos de aluminio depositado en la medida que entra y sale el reflector desde la cámara de deposición.

Una vez completado el proceso de deposición, se obtienen los resultados presentados en la Tabla Anexos 3:

Tabla Anexos 3. Resultados de la deposición por sputtering en el observatorio Paranal.

Características	Comentarios
Velocidad de deposición	5 nm/segundo
Espesor capa de aluminio	Promedio: 80 nm, desviación estándar 4.16%
Tiempo de deposición	30 min/ 50m ²
Reflectancia	Cercana a la reflectancia ideal del aluminio.

Fuente: [89] Ettliger E., Giordano

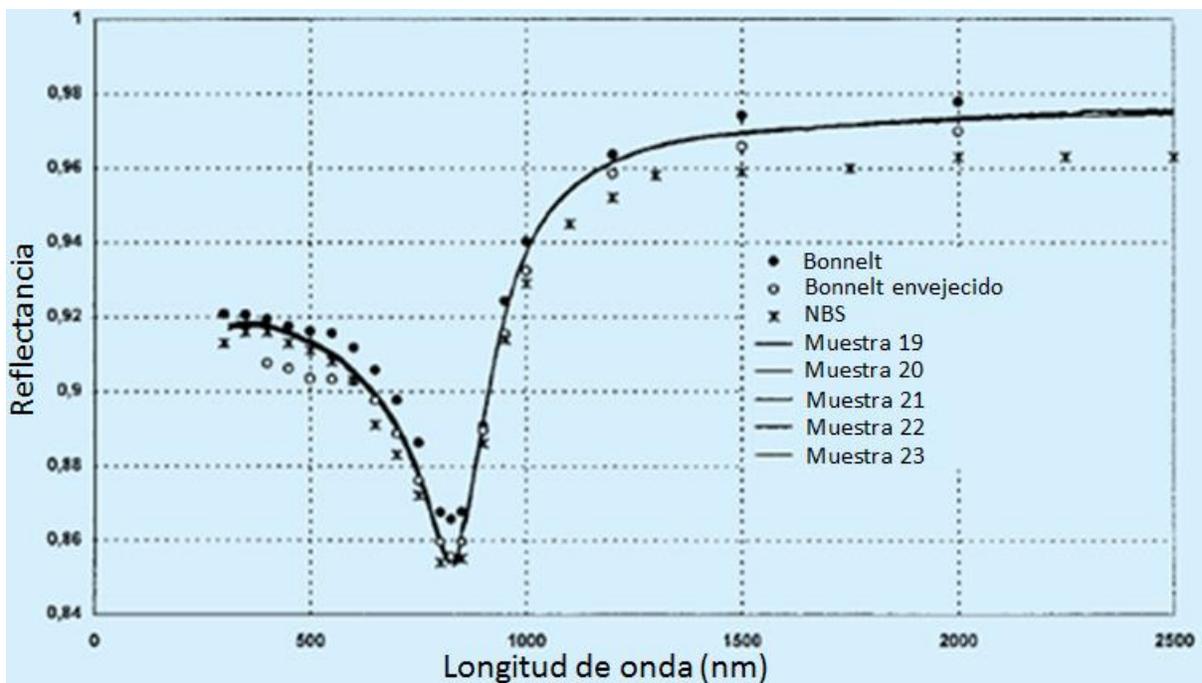


Figura Anexos 2. Comparación entre la reflectancia obtenida con el sistema de recubrimiento de cerro Paranal, y el estándar NIST de Estados Unidos, desarrollado por Benet et al. [89]

Anexo B: Observaciones a la estructura

Condiciones de agresividad en ambiental a lo largo del país.

Dadas las condiciones ambientales a lo largo del país ha surgido una fuerte industria galvanizadora en la región, asegurando así una mayor durabilidad a las estructuras metálicas instaladas a lo largo de la nación. Así la asociación galvanizadora ha confeccionado un mapa en el cual se observan los requerimientos para distintas zonas.

Tabla Anexos 4. Velocidades para la degradación del zinc en función del ambiente. [151]

Categoría de corrosividad (ambientes)		Riesgo de Corrosión	Velocidad de Corrosión del Zinc ($\mu\text{m}/\text{año}$)
C1	Interior: Seco	Muy Bajo	$\leq 0,1$
C2	Interior: Condensación ocasional Exterior: Rural, no marino.	Bajo	0,1 a 0,7
C3	Interior: Elevada humedad, aire ligeramente contaminado. Exterior: Urbano no marino o costero de baja salinidad.	Medio	0,7 a 2,0
C4	Interior: Piscinas, plantas químicas, etc. Exterior: Industrial en el interior o urbano costero.	Elevado	2,0 a 4,0
C5	Exterior: Industrial muy húmedo o costero de alta salinidad.	Muy elevado	4,0 a 8,0

La Tabla Anexos 4 expresa la calificación y velocidades de degradación para distintas situaciones ambientales presentes en el país.

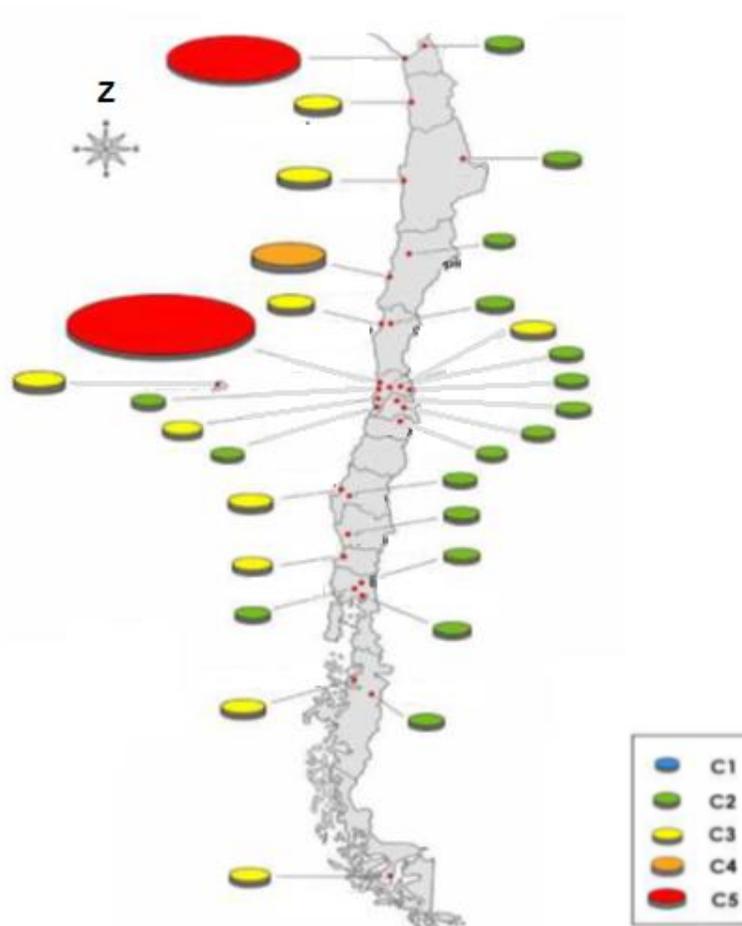


Figura Anexos 3 Caracterización de agresividad ambiental para el acero galvanizado en Chile, C1: Muy Baja, C2: Baja, C3: Media, C4: alta, C5: Muy alta.[152]

Anexo C: Características de los fluidos Térmicos.

Se presentan las propiedades para los fluidos térmicos procesados en las instalaciones de quinteros por Industrias Copec.

Tabla Anexos 5. Fluidos térmicos en stock nacional.

Fluido	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Consideraciones	Punto de Ignición. [°C min]	Precio USD/barril
Mobiltherm 603	-3 [°C]	285 [°C] cerrado 150 [°C] abierto	Flamable al exponerse a fuentes de ignición	194	821,15
Mobiltherm 605	-7 [°C]	320 [°C] cerrado. 180 [°C] abierto	Posibilidad de ignición espontánea ante fugas	230	973,02

Fuente: [153] Petroleum Service Company, [154] Petrogas lubricants, [155] y [156] ExxonMobil

Al comparar con los otros fluidos térmicos en el mercado destaca la similitud entre las propiedades de los fluidos, excepto en que los fluidos Mobiltherm presentan una viscosidad mayor y un menor costo de adquisición.

Tabla Anexos 6. Comparación entre aceites

	Mobiltherm 603	Mobiltherm 605	Therminol 62	Therminol 66	Therminol Vp1
Viscosidad Cinemática mm²/s					
40 °C	20,2	30	10,94	26,64	3,1
100 °C	4,2	5	2,52	3,77	0,986
Densidad Kg/L					
15 °C	0,82	0,86	0,959	1,012	1,068
260 °C	0,719		0,768	0,84	0,857
300 °C		0,674	0,73	0,809	0,817
Conductividad W/mK					
15 °C	0,135		0,123	0,118	0,137
100 °C		0,128	0,116	0,114	0,128
300 °C	0,114	0,114	0,094	0,095	0,096
Capacidad térmica Kj/kgK					
15 °C	1,88	1,85	1,93	1,55	1,53
300 °C	2,86	2,51	2,53	5,57	2,31
Max densidad de Potencia W/Pulg² a temperatura ambiente					
	20	20	20	20	20
Rango térmico de trabajo [°C]					
	-3 a 285	-7 a 320	-23 a 325	-3 a 345	12 a 400
Precio USD/Barril					
	821,15	973,02	1.160	1.430	1.250

Fuente: [157] Duratherm Heat Transfer Fluids, [158] I.S.T. Italia Sistemi Tecnologici, [159] Eastman con Solutia

Anexo D: Flujos de Caja

Anexo D-1: Modelos de flujo de caja para adquisición equipo de sputtering

En la Tabla Anexos 7, se presenta el flujo de caja para un proyecto en el cual se busca traer un equipo de sputtering Von Ardenne, con costos de adquisición de 70.000 USD, 80 µm de plata depositada y 100 µm protección de silicio. Equipo de 5 técnicos y 41.000 m² de demanda/anual.

Tabla Anexos 7. Flujo de caja para el proyecto de adquisición de un equipo de Sputtering de Shanghai Vacumme Technology

año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingreso por venta	0	654037	817547	981056	1144565	1308075	1471584	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094	1635094
Interes por deposito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros Ingresos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ganancias/Perdidas de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos fijos	0	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738	-204738
terreno/electricidad/h2o	0	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379	-6379
tecnico/operador x 5	0	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010	-98010
gerente x1	0	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298	-54298
secretaria x1	0	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513	-11513
vendedor x3	0	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538	-34538
Costos variables	0	-331072	-413840	-496608	-579375	-662143	-744911	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679	-827679
vidrio	0	-98106	-122632	-147158	-171685	-196211	-220738	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264	-245264
objetivos (Ag + Si)	0	-227390	-284238	-341086	-397933	-454781	-511628	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476	-568476
energia [Kw-h]	0	-5576	-6970	-8364	-9757	-11151	-12545	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939	-13939
Pago Interes creditos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Depresiacion legal	0	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500	-3500
Perdidas anteriores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad antes de Impuesto	0	114728	195469	276211	356952	437693	518435	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176	599176
Impuesto 1ra categoria	0	-17209	-29320	-41432	-53543	-65654	-77765	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876	-89876
Utilidad despues de Impuesto	0	97519	166149	234779	303409	372039	440670	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300	509300
Depresiacion legal	0	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Perdidas anteriores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ganancias/Perdidas de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo operacional		101019	169649	238279	306909	375539	444170	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800
Inversion fija		-70000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IVA inversion		-12600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
recuperacion del IVA		0	12600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor residual activos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
capital de trabajo		-170200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recuperacion de capital		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	170200
Prestamos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de capitales		-252800	12600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	170200
Flujo de caja		-252800	113619	169649	238279	306909	375539	444170	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	512800	683000
VAN [Miles USD]		4,355693338	-0,43586	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la Tabla Anexos 8, se presenta el flujo de caja para un proyecto en el cual se busca traer un equipo de sputtering Von Ardenne, con costos de adquisición de 6,23 MUSD, 180 µm de plata depositada, 100 µm protección de silicio. Equipo de 15 técnicos y 2 Millones de m² de demanda.

Tabla Anexos 8. Flujo de Caja para un equipo de sputtering Von Ardenne,

año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Ingreso por venta	0	29431683	36789604	44147525	51505445	58863366	66221287	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	73579208	
Interes por deposito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Otros Ingresos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ganancias/Perdidas de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Costos fijos	0	-504371,4	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	-504371	
terreno/electricidad/h2o	0	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	-6379,31	
tecnico/operador x 5	0	-294030,4	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	-294030	
gerente x1	0	-54298,37	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	-54298,4	
secretaria x1	0	-34537,69	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	-34537,7	
vendedor x3	0	-115125,6	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	-115126	
Costos variables	0	-26480095	-3,3E+07	-4E+07	-4,6E+07	-5,3E+07	-6E+07	-6,6E+07														
vidrio	0	-4414752	-5518441	-6622129	-7725817	-8829505	-9933193	-1,1E+07														
objetivos (Ag + Si)	0	-22059767	-2,8E+07	-3,3E+07	-3,9E+07	-4,4E+07	-5E+07	-5,5E+07														
energia [Kw-h]	0	-5575,68	-6969,6	-8363,52	-9757,44	-11151,4	-12545,3	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	-13939,2	
Pago Interes creditos	0	0	0	0,001724	0,003448	0,005172	0,006897	0,008621	0,010345	0,012069	0,013793	0,015517	0,017241	0,018966	0,02069	0,022414	0,024138	0,025862	0,027586	0,02931	0,031034	
Depreciacion legal	0	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	-311735	
Perdidas anteriores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilidad antes de Impuesto	0	2135481,4	2873378	3611275	4349172	5087069	5824966	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	6562863	
Impuesto 1ra categoria	0	-320322	-431007	-541691	-652376	-763060	-873745	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	-984429	
Utilidad despues de Impuesto	0	1815159,2	2442372	3069584	3696796	4324009	4951221	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	5578434	
Depreciacion legal	0	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	311735	
Perdidas anteriores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ganancias/Perdidas de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Flujo operacional		2126894,2	2754107	3381319	4008531	4635744	5262956	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	
Inversion fija	-6234700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IVA inversion	-1122246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
recuperacion del IVA	0	1122246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Valor residual activos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
capital de trabajo	-389246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recuperacion de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	389245,7	
Prestamos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Amortizaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Flujo de capitales	-7746192	1122246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	389245,7	
Flujo de caja	-7746192	3249140,2	2754107	3381319	4008531	4635744	5262956	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	5890169	6279414	
VAN [Millones USD]	27,42120797	-7,74619	2,901018	2,195557	2,406756	2,547494	2,630446	2,666377	2,664413	2,37894	2,124054	1,896477	1,693283	1,51186	1,349875	1,205245	1,076112	0,960814	0,85787	0,765955	0,683888	0,650967

Anexo D-2: Flujo de caja de adquisición equipo removedor de fierro en arena

En la Tabla Anexos 9, se presenta el flujo de caja para el proyecto de adquisición del equipo removedor de fierro en arena propuesto por JiangXu Jinshibao Mining Machinery Manufacturing. Considerando una demanda de 612 mil m²/año de vidrio bajo en fierro, y un precio de venta a 5 USD/m².

Tabla Anexos 9. Flujo que caja representativo para el proyecto adquisición de equipo removedor de fierro en arena silicatada.

año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingreso por venta	0	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071	3061071
Interes por deposito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros Ingresos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ganancias/Perdidas de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costos fijos		-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731	-1186731
10 días de perida	0	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445	-1060445
Sueldos 5 personas	0	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286	-126286
Costos variables		-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346	-1782346
16,8 Días de operación	0	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829	-982829
16,8 Dias no venta producto	0	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812	-799812
5,5 energia [Kw-h]	0	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296
Pago Interes creditos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Depreciacion legal	0	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306	-11306
Perdidas anteriores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad antes de Impuesto	0	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688	80688
Impuesto 1ra categoria	0	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103	-12103
Utilidad despues de Impuesto	0	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585	68585
Depreciacion legal		11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306	11306
Perdidas anteriores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ganancias/Perdidas de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo operacional		79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891
Inversion fija	-226121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IVA inversion	-40702	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
recuperacion del IVA	0	40702	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor residual activos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
capital de trabajo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recuperacion de capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prestamos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortizaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de capitales	-266823	40702	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de caja	-266823	120593	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891	79891
VAN [1000 USD]	366,2612655	-267	108	64	57	51	45	40	36	32	29	26	23	21	18	16	15	13	12	10	9

Anexo E: Planos y códigos utilizados en el diseño base evaluado.

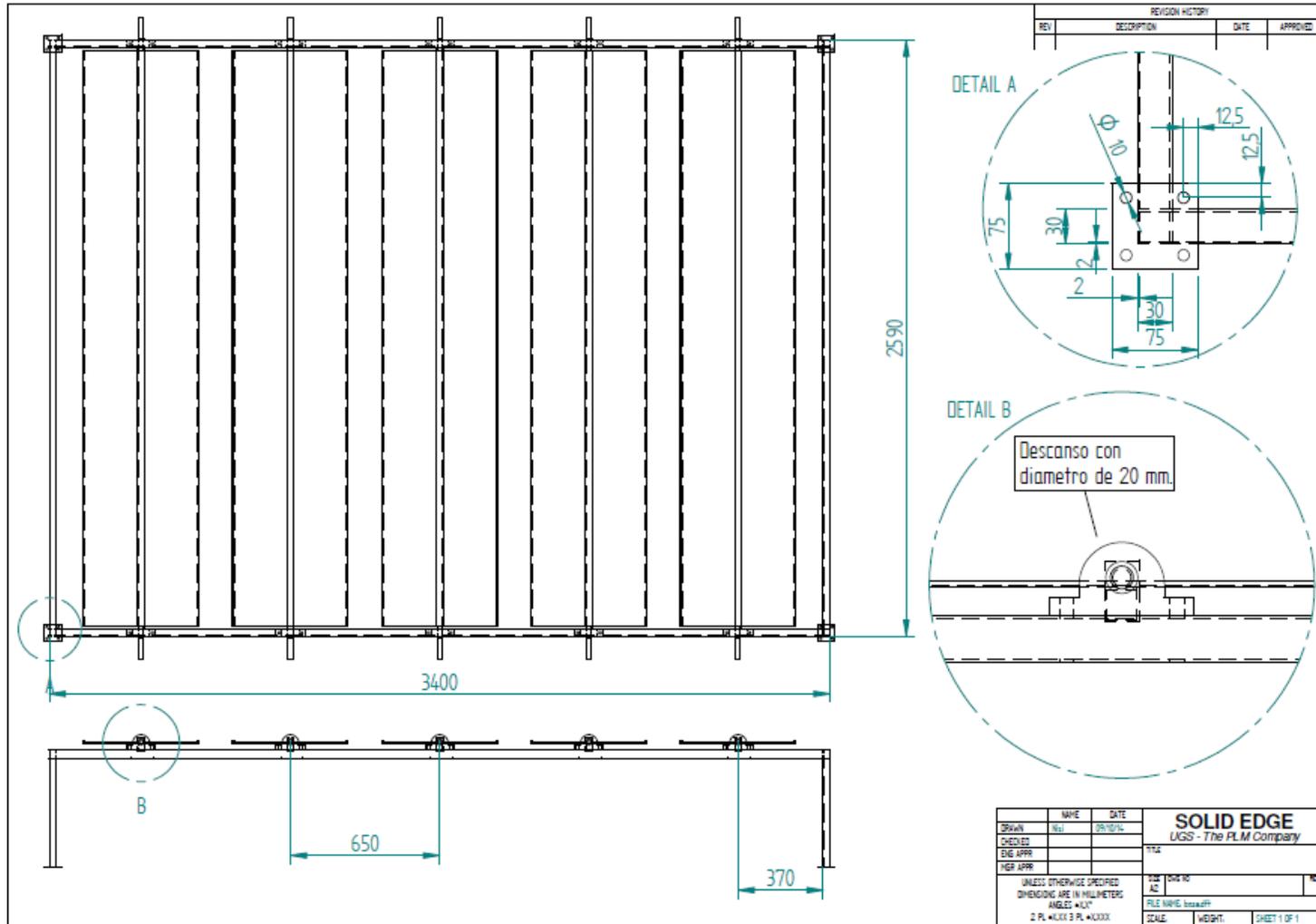


Figura Anexos 4. Plano de la estructura de soporte para los reflectores primarios

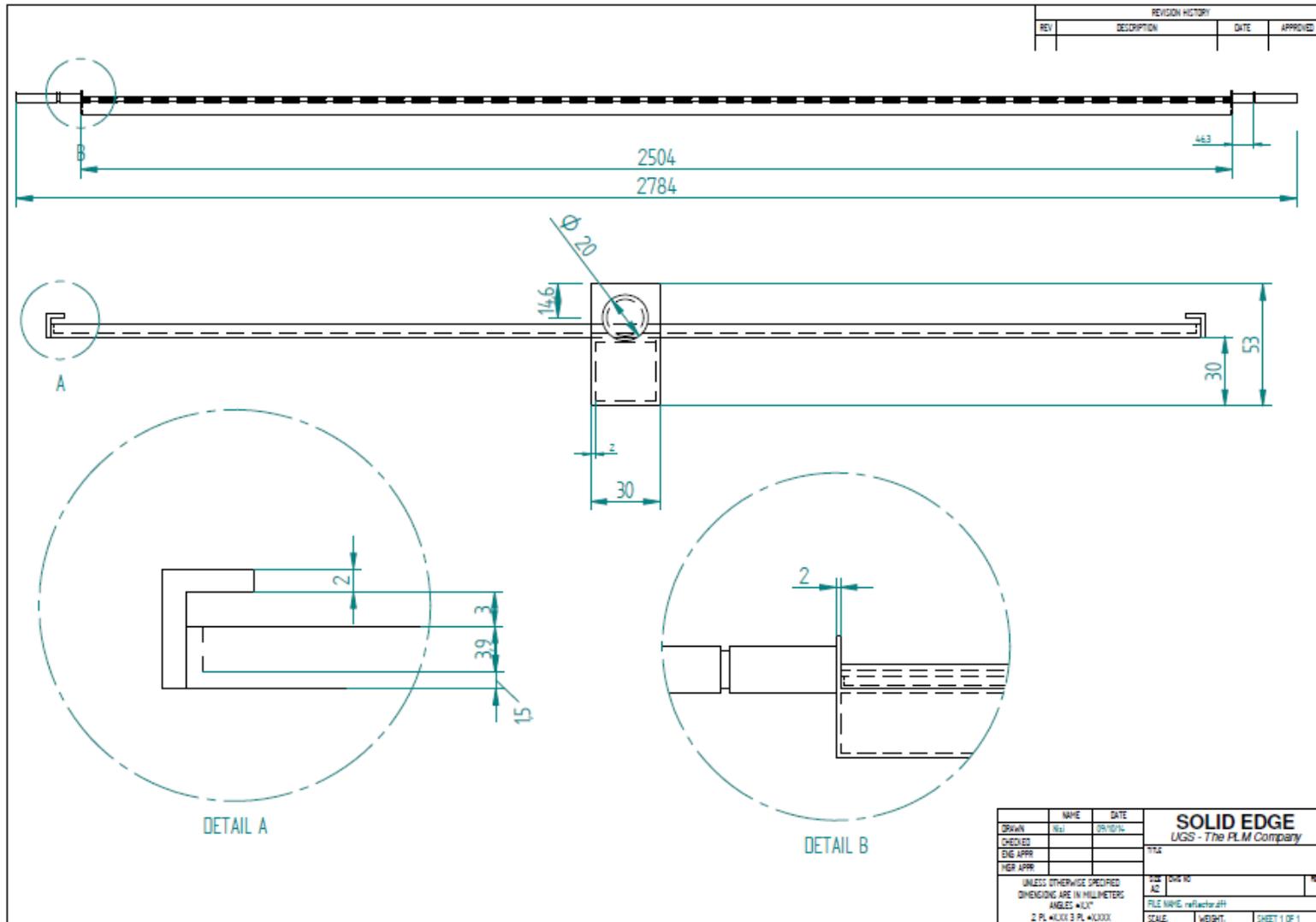


Figura Anexos 5. Plano del porta bandejas utilizado en el diseño considerado.

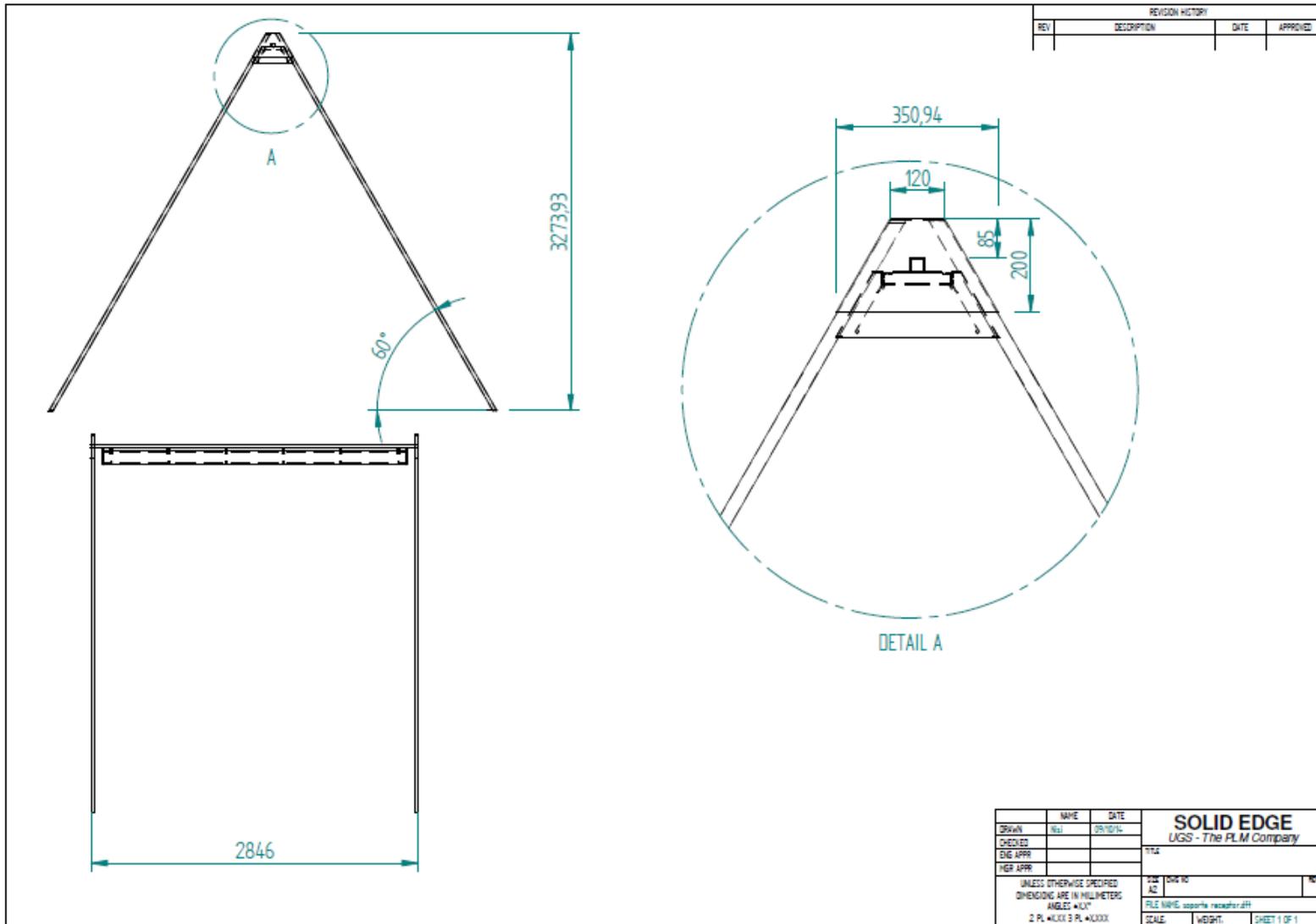


Figura Anexos 6. Plano del sistema de soporte para el receptor para el diseño considerado

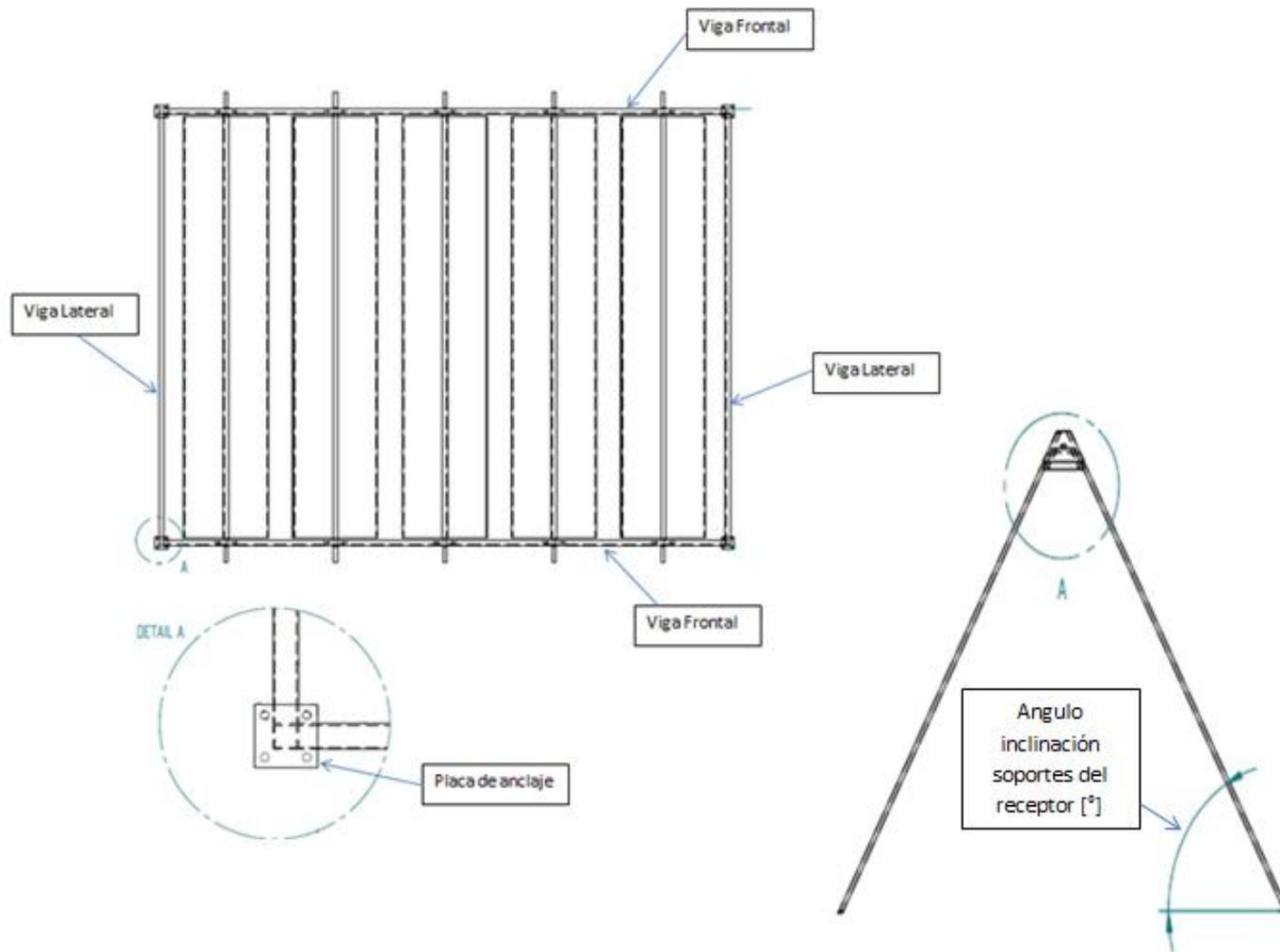


Figura Anexos 7. Ilustración con nombres representativos para componentes y parámetros considerados, o utilizados para el campo de reflectores primarios y soporte del receptor.

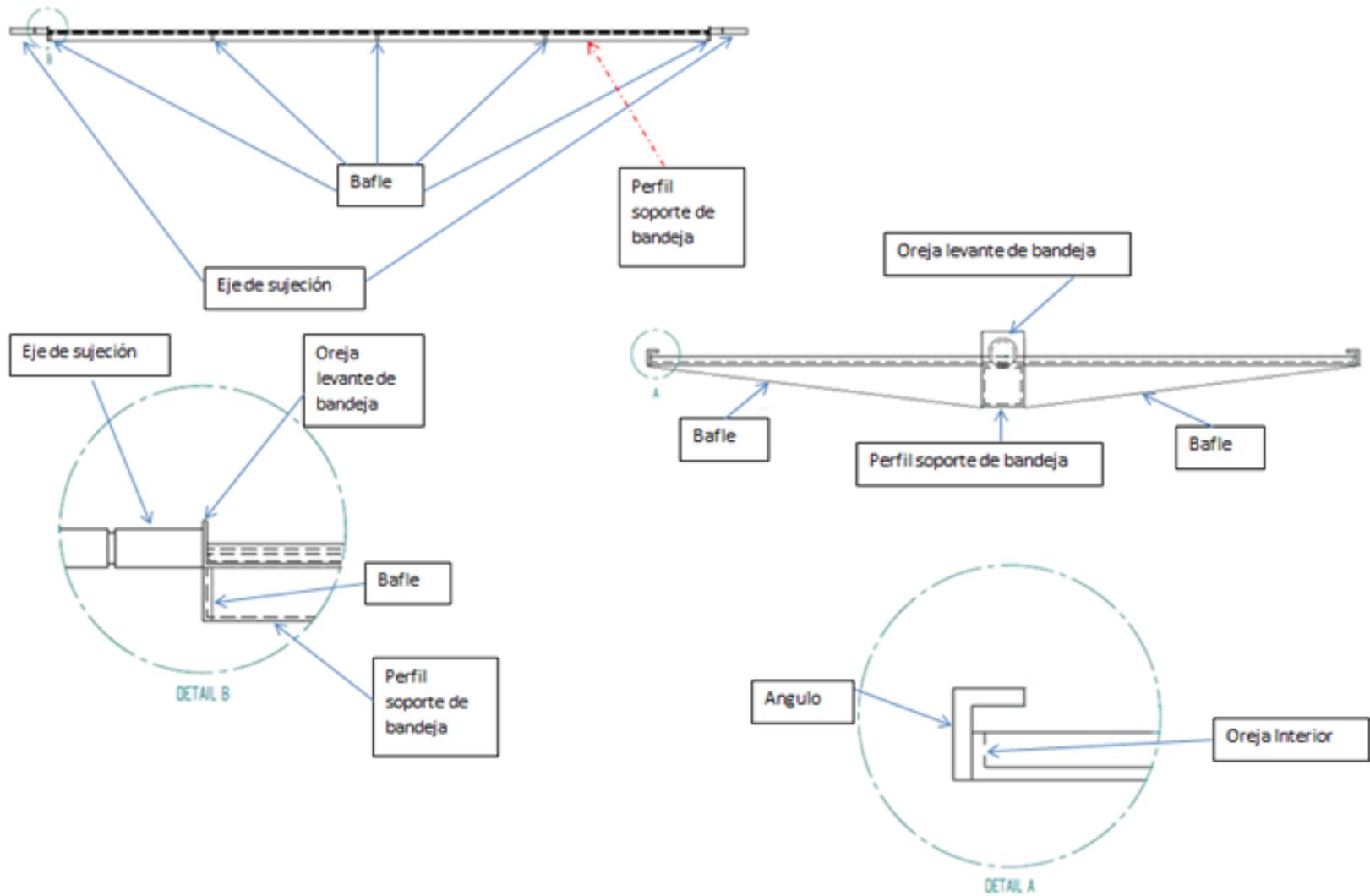


Figura Anexos 8. Ilustración con nombres representativos para componentes utilizados en el porta bandejas de reflectores primarios.

Anexo F: Programación

Id	Tarea	Año 1				Año 2				Año 3				Año 4	
		Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2
0	Proyecto Fresnel Lineal														
1	1 Diseño Básico e Ingeniería														
2	1,1 Definición de planta														
3	1,2 Diseño conceptual														
4	1,3 Caracterización del sitio														
5	1,4 Verificación de la evaluación de recurso solar														
6	2 Ingeniería de Detalle														
7	2,1 Reunión de partida														
8	2,2 Ingeniería civil y auxiliar														
9	2,3 Sistema colector														
10	2,4 Almacenamiento														
11	2,5 Sistema de control														
12	2,6 Incorporación al proceso industrial														
13	2,7 Plan de operación y mantenimiento														
14	2,8 Revisión de ingeniería de detalle														
15	3 Adquisición y Ensamble de Componentes														
16	3,1 Estructura del colector														
17	3,2 Reflectores primarios														
18	3,3 Reflectores secundario y carcasa														
19	3,4 Absobedor														
20	3,5 Obras civiles y auxiliares														
21	3,6 Sistema de almacenamiento														
22	3,7 Sistema de incorporación al proceso productivo														
23	3,8 Envío e instalación de componentes del colector														
24	3,9 Envío e instalación del sistema de almacenamiento														
25	3,1 Envío e instalación del sistemas de control														
26	3,11 Envío e instalación del sistema de incorporación														
27	3,12 Revisión del ensamble														
28	4 Ensayos de Aceptación														
29	4,1 Campo solar														
30	4,2 Sistema de almacenamiento														
31	4,3 Sistema de control														
32	4,4 Incorporación al proceso industrial														
33	4,5 Revisión a los ensayos de aceptación														
34	5 Operación y Evaluación														
35	5,1 Entrenamiento y operación reducida														
36	5,1 Entrenamiento a operación completa														
37	5,1 Operación extendida y evaluación														
38	5,1 Elaboración de informe final														
39	5,1 Informe definitivo														