Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

aiguasol

Calor Solar en Minería

Oportunidades en la minería, tecnologías disponibles y experiencias aplicables

Daniel González Castellví

Catalina Bravo Inostroza

AIGUASOL

6 de septiembre de 2022

Temario

Requerimientos de Calor en la Minería

Tecnologías Solares disponibles

Oportunidades de Calor Solar en Minería

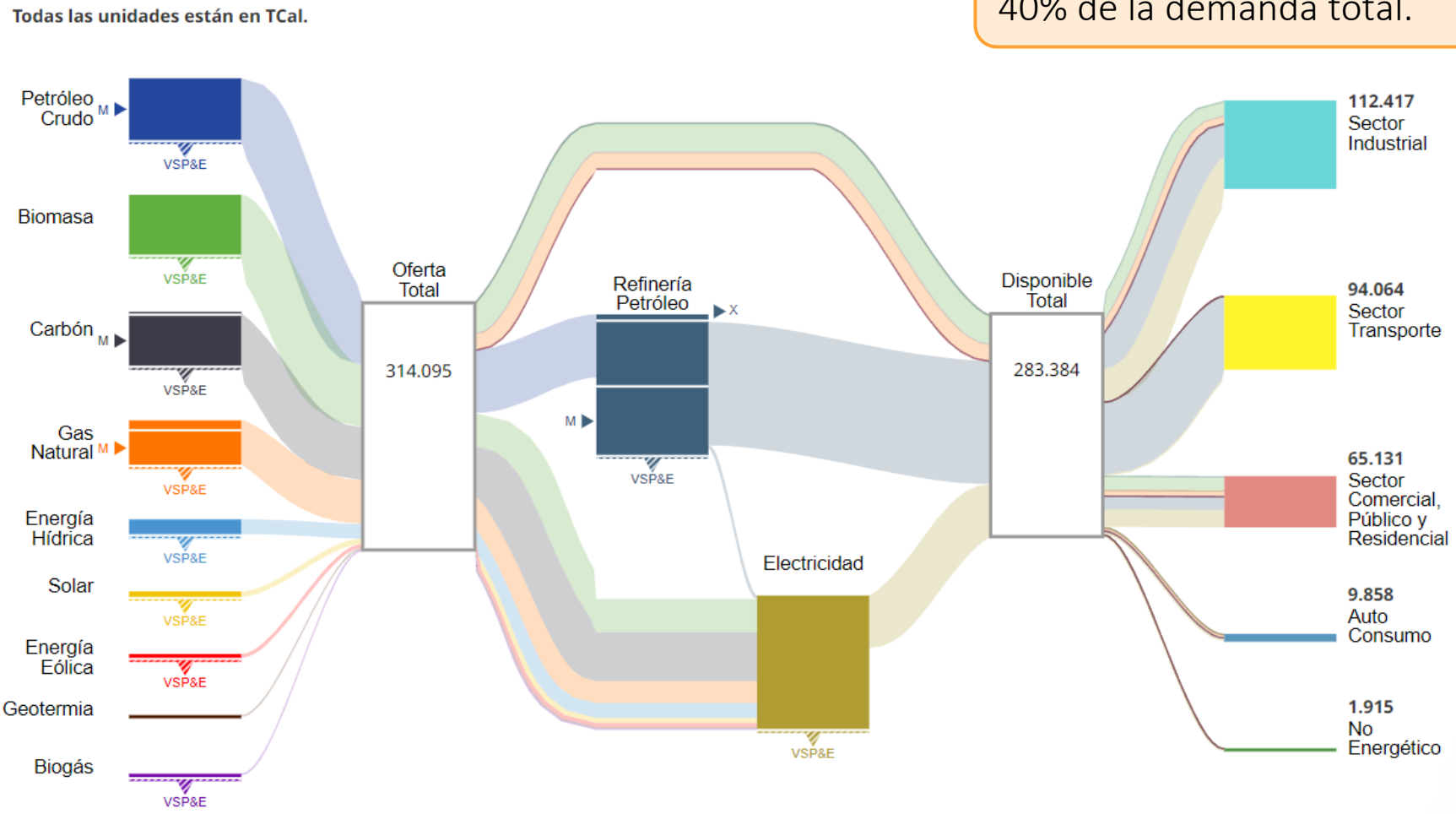
Experiencias Calor Solar en la Minería e Industria

Sumario

Requerimientos de Calor en Minería

Balance nacional de energía - 2020

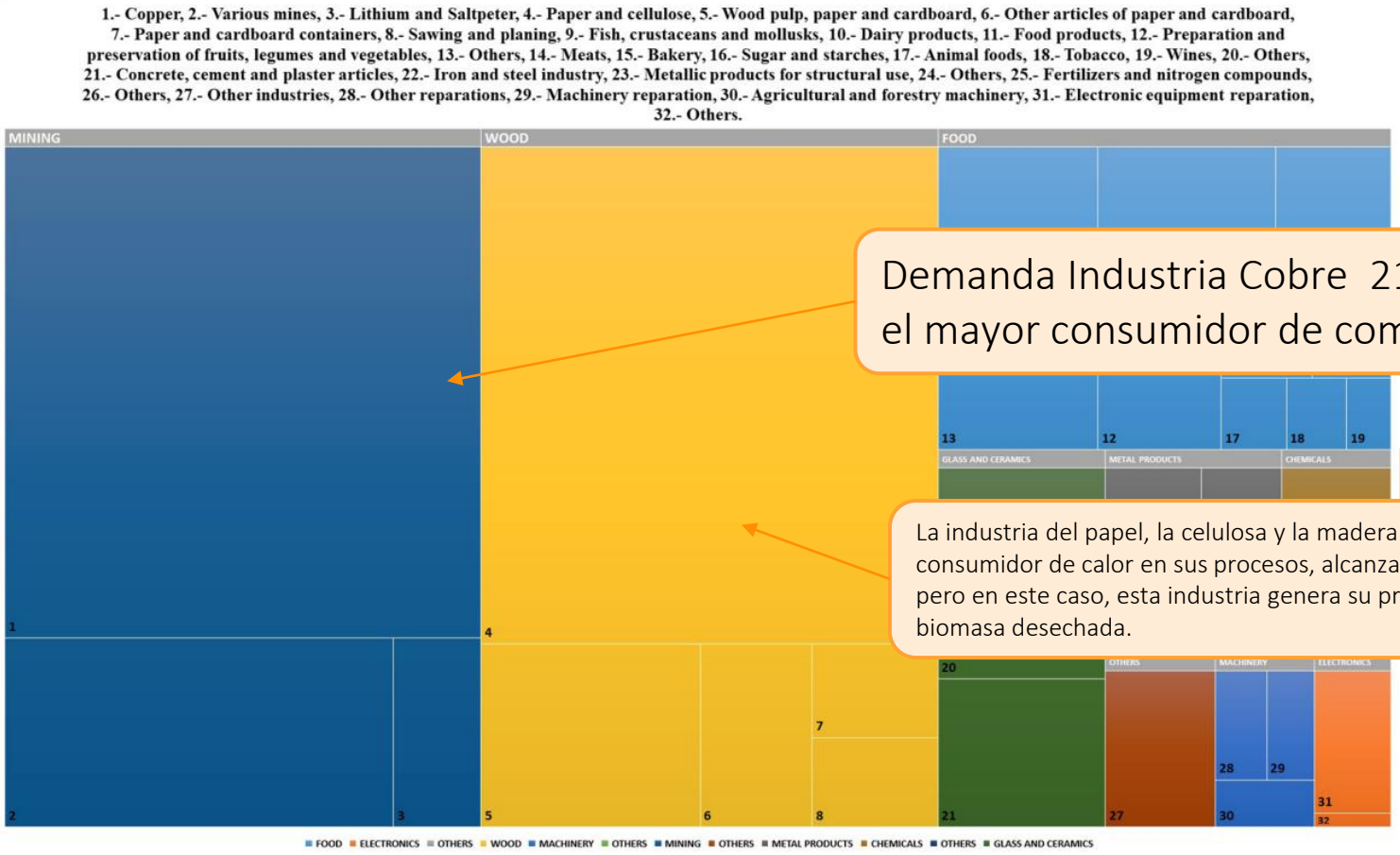
Demanda Industria 130 TWh.
40% de la demanda total.



Fuente: Ministerio de Energía

Requerimientos de Calor en Minería

Análisis Consumo Energía por Actividad Industrial*



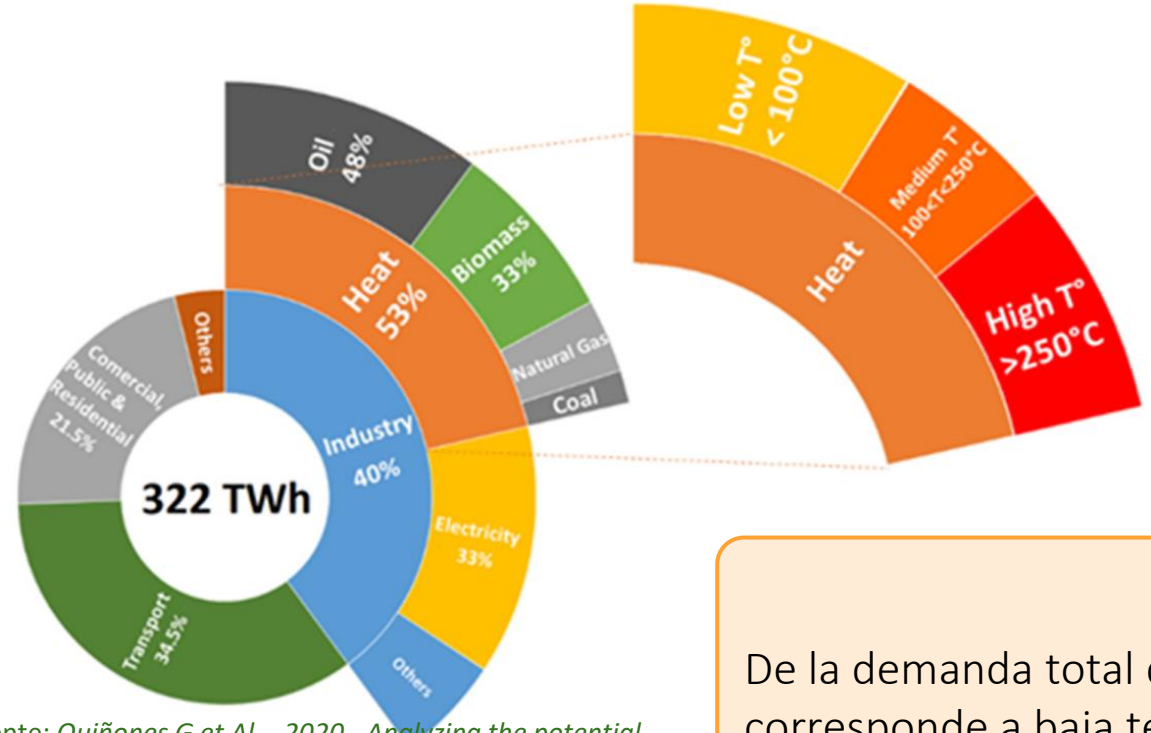
Demanda Industria Cobre 21 TWh/año el mayor consumidor de combustible.

La industria del papel, la celulosa y la madera es el segundo mayor consumidor de calor en sus procesos, alcanzando los 20,6 TWh/a, pero en este caso, esta industria genera su propio calor a partir de biomasa desechada.

Fuente: *Quiñones G et Al. - 2020 - Analyzing the potential for solar thermal energy utilization industry*, a partir de a partir de los datos publicados para la Encuesta Nacional Industrial (ENIA) 2014, el balance energético nacional de Chile de 2015 y el informe anual del consejo minero chileno de 2015 (Consejo Minero, 2015; INE, 2014; Ministerio de Energía, 2016).

Requerimientos de Calor en Minería

Requerimiento de demanda según niveles térmicos



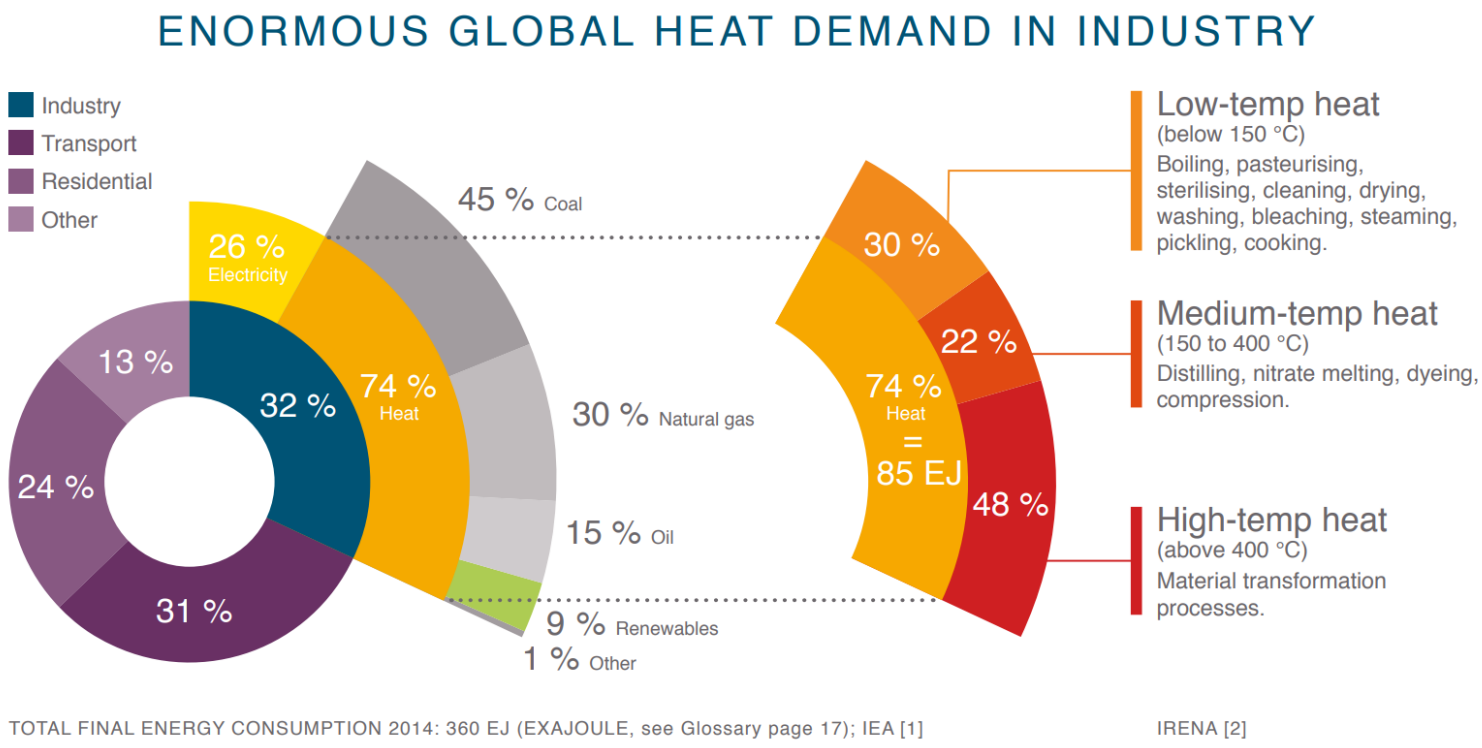
Fuente: *Quiñones G et Al. - 2020 - Analyzing the potential for solar thermal energy utilization industry.*

En Chile:

De la demanda total de calor un 40% aproximadamente corresponde a baja temperatura T < 100 °C, un 25% aprox. corresponde a media temperatura 100 °C < T < 250 °C y el restante 35% a alta temperatura T > 250 °C.

Requerimientos de Calor en Minería

Requerimiento de demanda según niveles térmicos

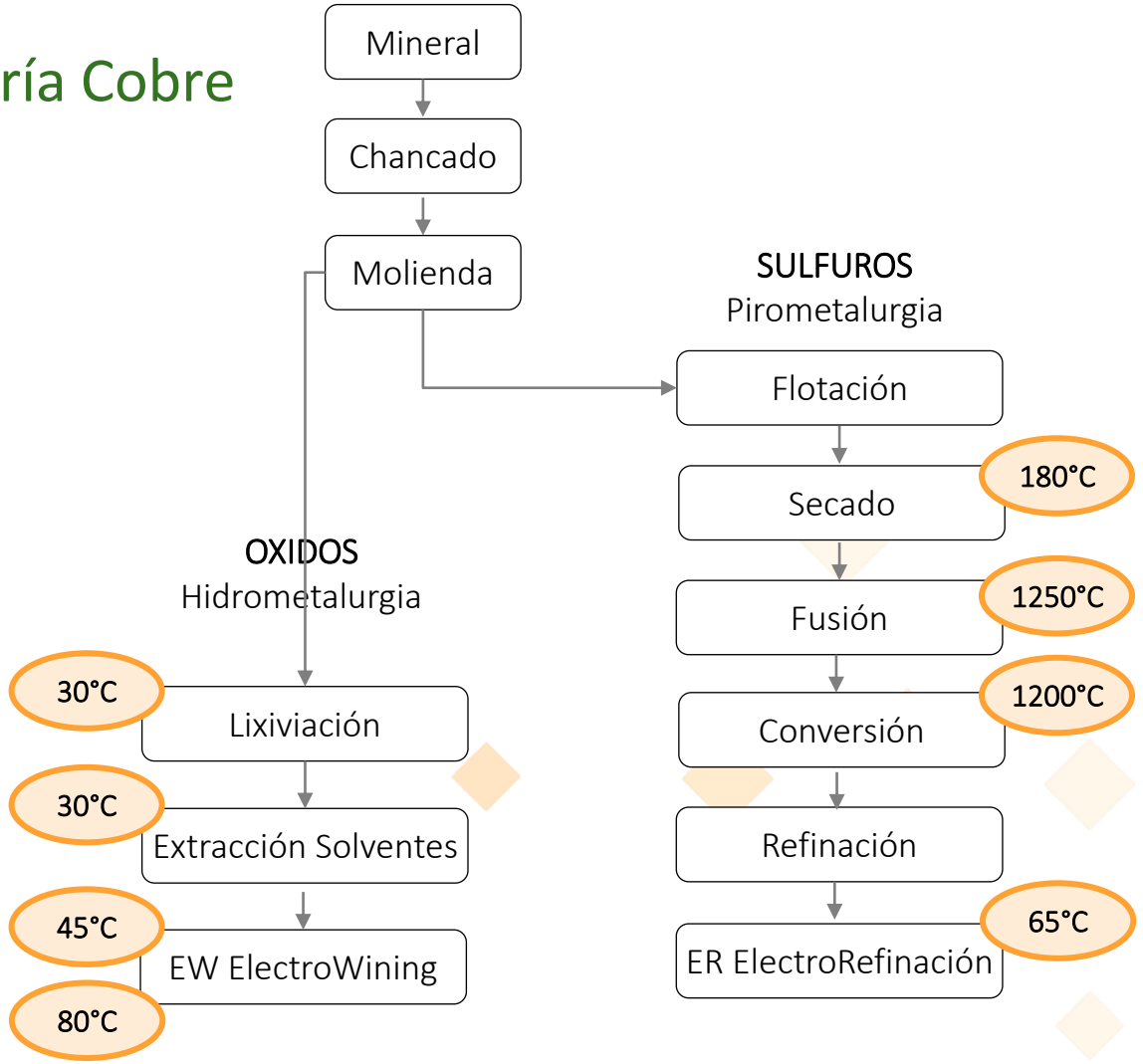


A nivel Mundial el 90% de la demanda de calor en la Industria está proporcionada por carbón, derivados del petróleo o gas.

Fuente: *Solar_heat_for_industry*, a su vez de *la International Energy Agency (IEA), World Energy Statistics 2016, online tables*

Requerimientos de Calor en Minería

Procesos Minería Cobre



Temario

Requerimientos de Calor en la Minería

Tecnologías Solares disponibles

Oportunidades de Calor Solar en Minería

Experiencias Calor Solar en la Minería e Industria

Sumario

Tecnologías Solares disponibles

Tecnologías Captadores Solar Térmicos.

Captadores planos. FPC

- Procesos baja temperatura T < 80 °C

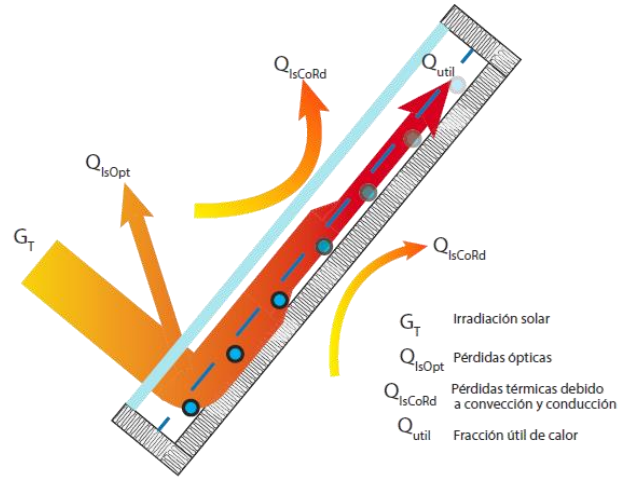


Figura 3.3 Esquema funcionamiento colector solar

Tecnologías Solares disponibles

Tecnologías Captadores Solar Térmicos.

Captadores de Vacío ETC

- Procesos baja y media temperatura

T < 120 °C

Captadores de Vacío con reflector CPC.

- Procesos de media temperatura

T < 150 °C

- Factor de concentración C1.2- 2.0

Tecnologías Solares disponibles

Tecnologías Captadores Solar Térmicos.

Captadores cilindro parabólicos PTC

- Procesos media y alta temperatura 250 °C < T < 550 °C
- Existen diversos modelos y tamaños para diferentes aplicaciones: desde generación de electricidad a procesos industriales.

Tecnologías Solares disponibles

Tecnologías Captadores Solar Térmicos.

Captadores Lineales Fresnel LFC

- Procesos media temperatura T 250 °C
- Existen algún diseño para aplicación de generación de electricidad trabaja a mayor temperatura 250 °C < T < 500 °C

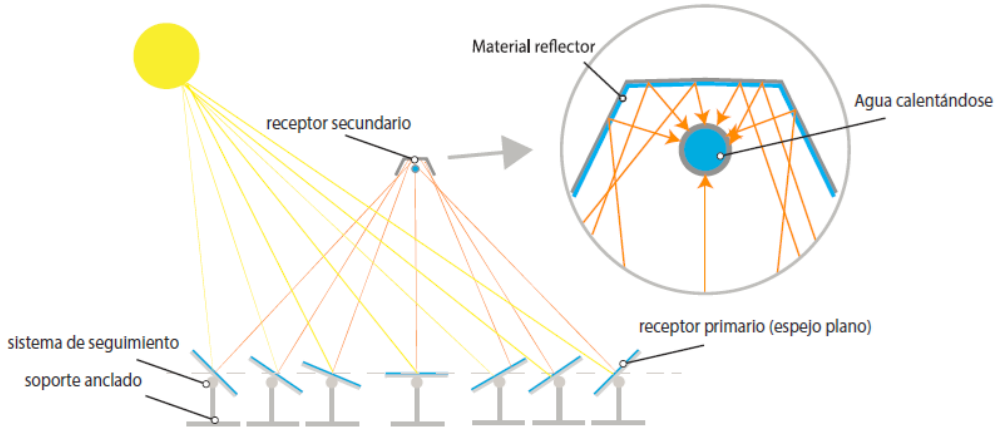


Figura 3.20 Esquema funcionamiento colector Fresnel lineal

Tecnologías Solares disponibles

Tecnologías Captadores Solar Térmicos.

Centrales de Torre y Hornos Solares

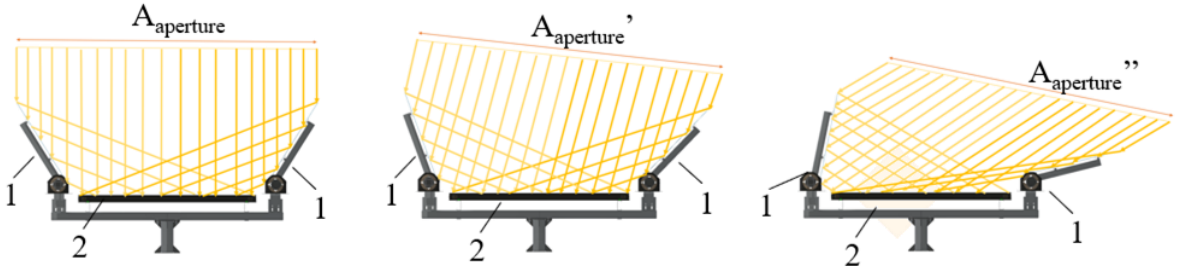
- Las centrales de procesos alta temperatura 500 °C < T < 800 °C
- Los hornos solares existente trabajan hasta 2 200 °C – 3 400 °C.

Tecnologías Solares disponibles

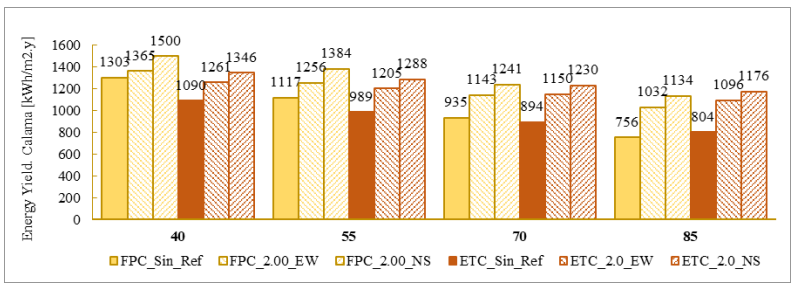
Tecnologías Captadores Solar Térmicos. Innovaciones.

Adaptación de las tecnologías a los procesos industriales y mineros en zonas geográficas con alta radiación solar y condiciones meteorológicas desafiantes, como es el desierto de Atacama y en general el Norte Grande de Chile.

ULISSES – WeSSun V2.0

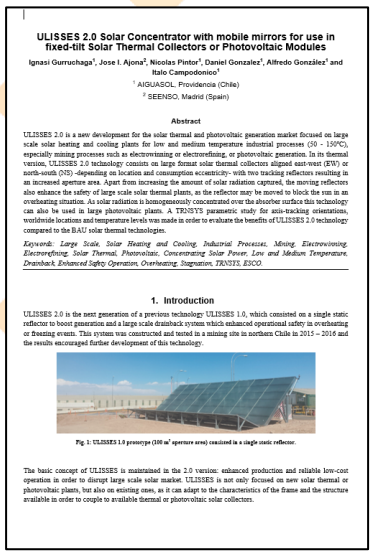


- Procesos baja y media temperatura T < 150 °C
- Factor de concentración C1.6- 2.0.
- Hasta un 23 – 50% más de producción que FPC o ETC



Tecnología presentada

en el Solar World Congress 2019 (Chile) -→



ULISSES 2.0 Solar Concentrator with mobile mirrors for use in fixed-tilt Solar Thermal Collectors or Photovoltaic Modules

Ignasi Guruchaga[1], Jose I. Ajona[2], Nicolas Pinto[1], Daniel Gonzalez[1], Alfredo González[1] and Italo Campodonico[1]

[1] AIGUASOL, Providencia (Chile)

[2] SEENSO, Madrid (Spain)

Abstract

ULISSES 2.0 is a new development for the solar thermal and photovoltaic generation market focused on large scale solar heating and cooling plants for low and medium temperature industrial processes (50 - 150ºC), especially mining processes such as electrowinning or electrorefining, or photovoltaic generation. In its thermal version, ULISSES 2.0 technology consists on large format solar thermal collectors aligned east-west (EW) or north-south (NS) -depending on location and consumption eccentricity- with two tracking reflectors resulting in an increased aperture area. Apart from increasing the amount of solar radiation captured, the moving reflectors also enhance the safety of large scale solar thermal plants, as the reflector may be moved to block the sun in an overheating situation. As solar radiation is homogeneously concentrated over the absorber surface this technology can also be used in large photovoltaic plants. A TRNSYS parametric study for axis-tracking orientations, worldwide locations and temperature levels was made in order to evaluate the benefits of ULISSES 2.0 technology compared to the BAU solar thermal technologies.

Keywords: Large Scale, Solar Heating and Cooling, Industrial Processes, Mining, Electrowinning, Electrorefining, Solar Thermal, Photovoltaic, Concentrating Solar Power, Low and Medium Temperature, Drainback, Enhanced Safety Operation, Overheating, Stagnation, TRNSYS, ESCO.

1. Introduction

ULISSES 2.0 is the next generation of a previous technology ULISSES 1.0, which consisted on a single static reflector to boost generation and a large scale drainback system which enhanced operational safety in overheating or freezing events. This system was constructed and tested in a mining site in northern Chile in 2015 – 2016 and the results encouraged further development of this technology.

Fig. 1: ULISSES 1.0 prototype (100 m² aperture area) consisted in a single static reflector.

The basic concept of ULISSES is maintained in the 2.0 version: enhanced production and reliable low-cost operation in order to disrupt large scale solar market. ULISSES is not only focused on new solar thermal or photovoltaic plants, but also on existing ones, as it can adapt to the characteristics of the frame and the structure available in order to couple to available thermal or photovoltaic solar collectors.

Tecnologías Solares disponibles

Tecnología ULISSES – WeSSun V2.0. Prototipo KDM (Chile).

Tecnologías Solares disponibles

Tecnología ULISSES – WeSSun V2.0. Prototipo IMDEA (España).

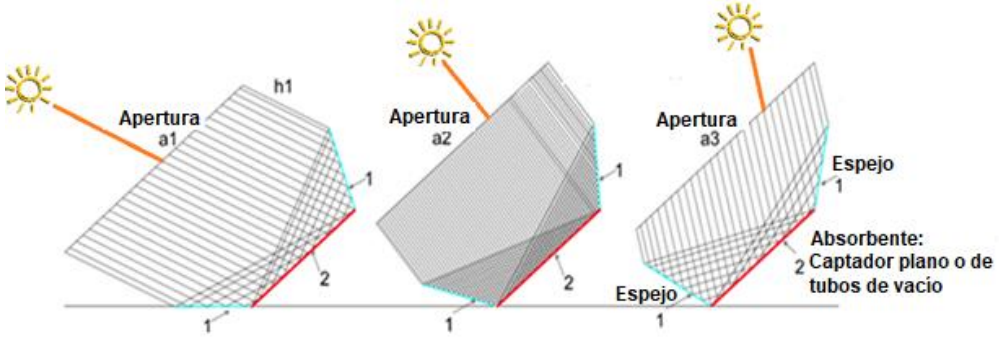
Objetivo del concentrador WeSSun

Minimizar el coste de la energía producida por la instalación solar con WeSSun durante su vida útil. Camino:

- Rendimientos elevados a las temperaturas de trabajo de las Redes de Calor y Frío
- El WeSSun permite reducir significativamente la inversión en la instalación completa (estructuras más ligeras, menos tuberías, vasos de expansión más pequeños, sin HX de primario, …)
- El WeSSun permite reducir significativamente los gastos en O&M (evitando sobretemperaturas, reduciendo las necesidad de limpieza, mejorando la protección antiheladas, ..

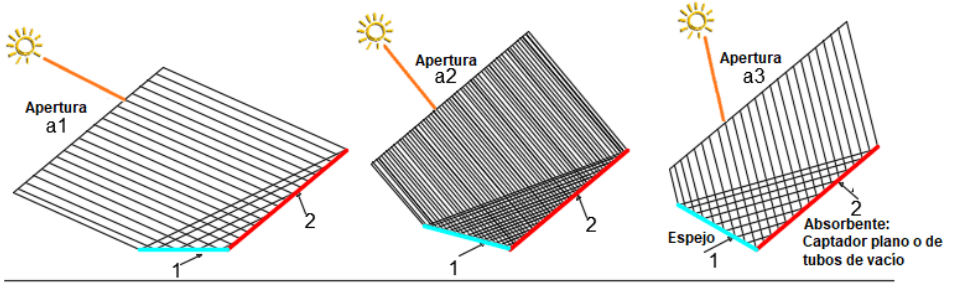
Principio de funcionamiento del WeSSun:

Los espejos siguen continuamente el movimiento aparente del sol, el captador está fijo



2 espejos con seguimiento

Posición de los espejos para distintos ángulos de incidencia transversal de la radiación solar: Redirigen la radiación hacia el absorbente



1 espejo con seguimiento

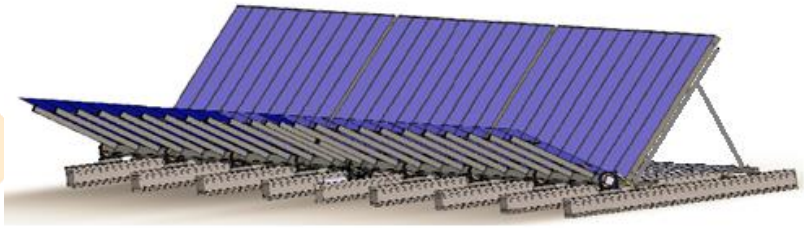
Características principales del WeSSun

- Desarrollo propio: Concentrador con 1 ó 2 espejos móviles y 1 captador con inclinación fija (Propiedad intelectual: PCT/ES2017/070508 WO/2018/015598)
- Seguimiento espejos: Eje E/O o N/S en función de demanda o ubicación
- Distribución cuasi homogénea de la radiación sobre el absorbente
- Ventajas técnicas:
  - Diseño de Baja Concentración (<2): Aprovecha mejor la radiación difusa que los concentradores cilindro parabólicos y Fresnel
  - Aumento de productividad solar por m2 de apertura
  - Protección automática y sencilla contra sobrecargas de viento y/o temperaturas excesivas
  - Aumento del rendimiento de los captadores térmicos planos y de vacío, a mayores temperaturas
  - Mayor uso del terreno que con seguidores sin espejos, moviendo el módulo o el captador
  - Reducción de los requisitos estructurales y de sobretemperatura
  - Adaptable a productos térmicos existentes, fabricados en grandes series: Captadores planos y de tubo de vacío
- Simplifica y reduce el coste del circuito primario de la instalación solar
- Menores costes de la energía producida

Tecnologías solares: WeSSun

- Rango de aplicación térmico: Hasta los 150º
- Implantación: Captador fijo, espejos con seguimiento continuo del sol
- Concentración solar (C= $A_{apertura}/A_{absorbente}$): entre 1,4 y 2
- Radiación disponible sobre la apertura: Radiación directa + el 70-80% de la difusa
- Protección intrínseca contra sobretemperaturas: Sombreado con los espejos
- Uso del terreno, minimizando sombras (zonas de latitud R40º):
  - Captador inclinado a la latitud, un eje de seguimiento E/O: 50% (con 1 ó 2 espejos)
  - Captador horizontal, un eje de seguimiento N/S: 60% (con 2 espejos, C=1,7)
- Sistemas de producción
  - Captador: En masa
  - Concentrador: Por establecer.

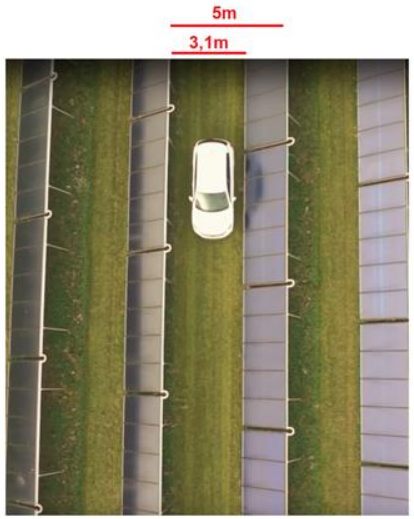
Diseño con 2 espejos para tubo de vacío con CPC



Diseño con 1 espejo para captador plano

Aplicaciones Principales con WeSSun

- Nuevos sistemas de media temperatura (minería, industria o redes de distrito)
- Repotenciación de instalaciones existentes



Situación actual

Propuesta: Incorporar 1 espejo con seguimiento del sol para aumentar la productividad

Propuesta: Utilizar el espejo con seguimiento para evitar el sobrecalentamiento, permitiendo el mantenimiento

Tecnologías Solares disponibles

Criterios para la elección de tecnologías:

- Fracción solar deseada y temperatura de proceso.
- Temperatura de operación de diseño de la tecnología solar.
- Adaptación o compatibilidad con fluido de proceso.
- Adaptación o compatibilidad con las condiciones físicas del proceso (presión, etc.).
- Diseño de las opciones de integración del calor solar en proceso.
- Certificación del producto y/o certificación externa de la producción solar.
- Gestión de congelación y sobrecalentamiento.
- Costos operacionales de electricidad y agua (para limpieza).
- Disponibilidad de terreno o edificaciones libres de sombras.

Temario

Requerimientos de Calor en la Minería

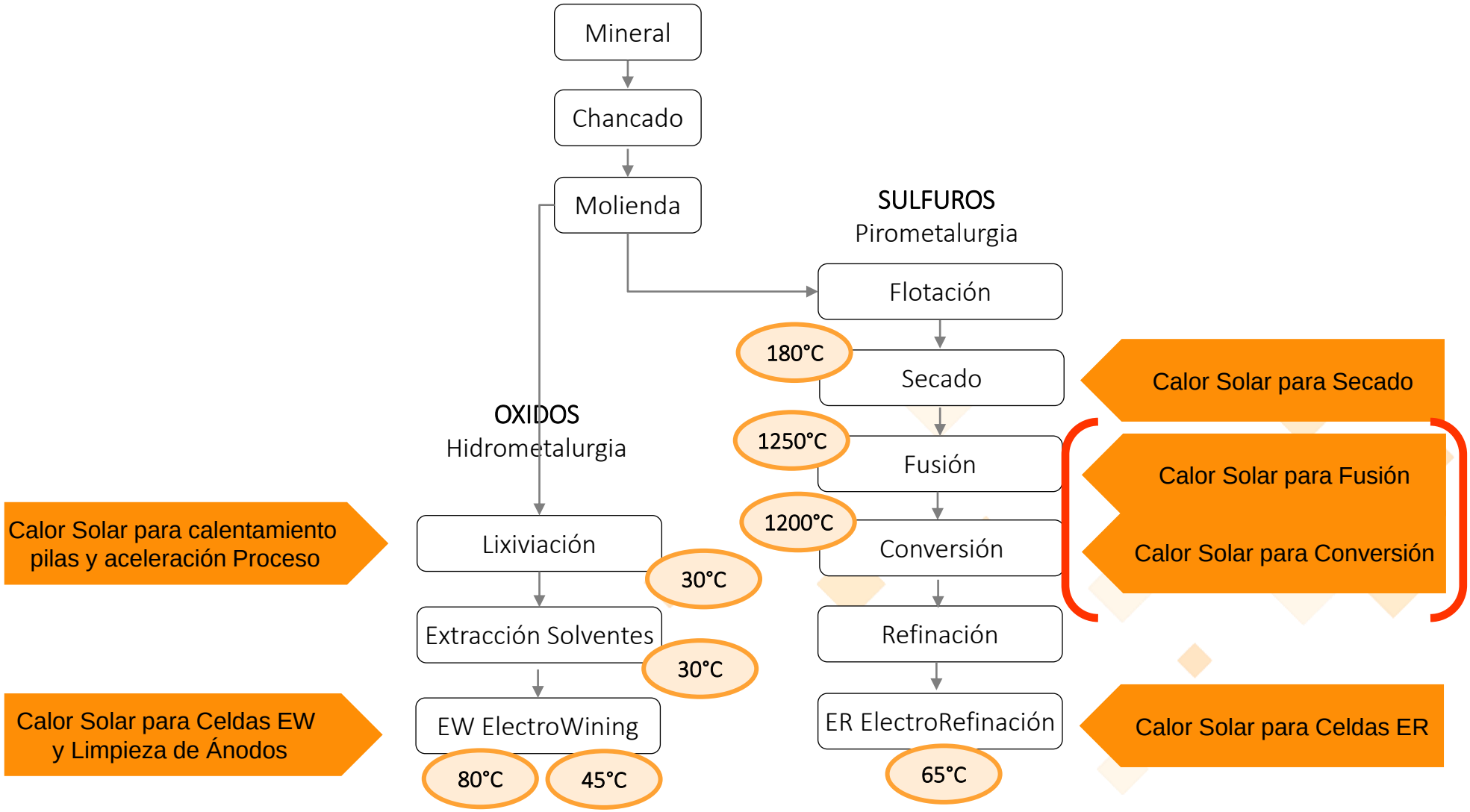
Tecnologías Solares disponibles

Oportunidades de Calor Solar en Minería

Experiencias Calor Solar en la Minería e Industria

Sumario

Oportunidades de Calor Solar en Minería



Oportunidades de Calor Solar en Minería

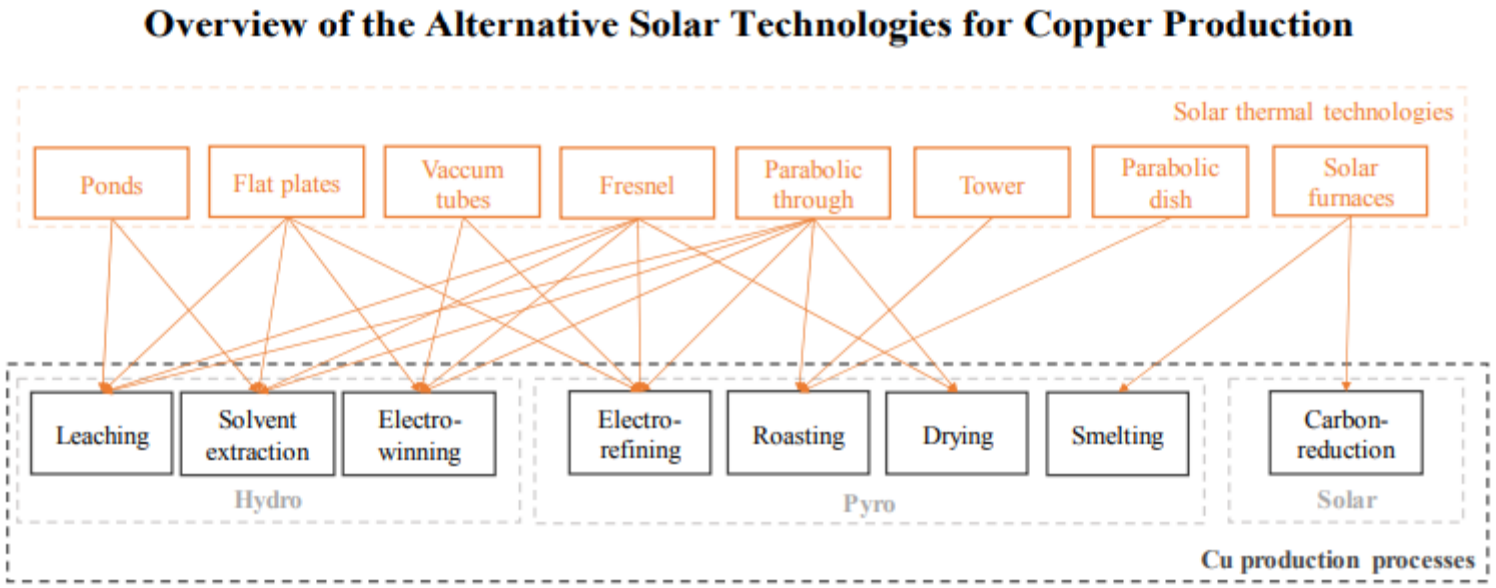
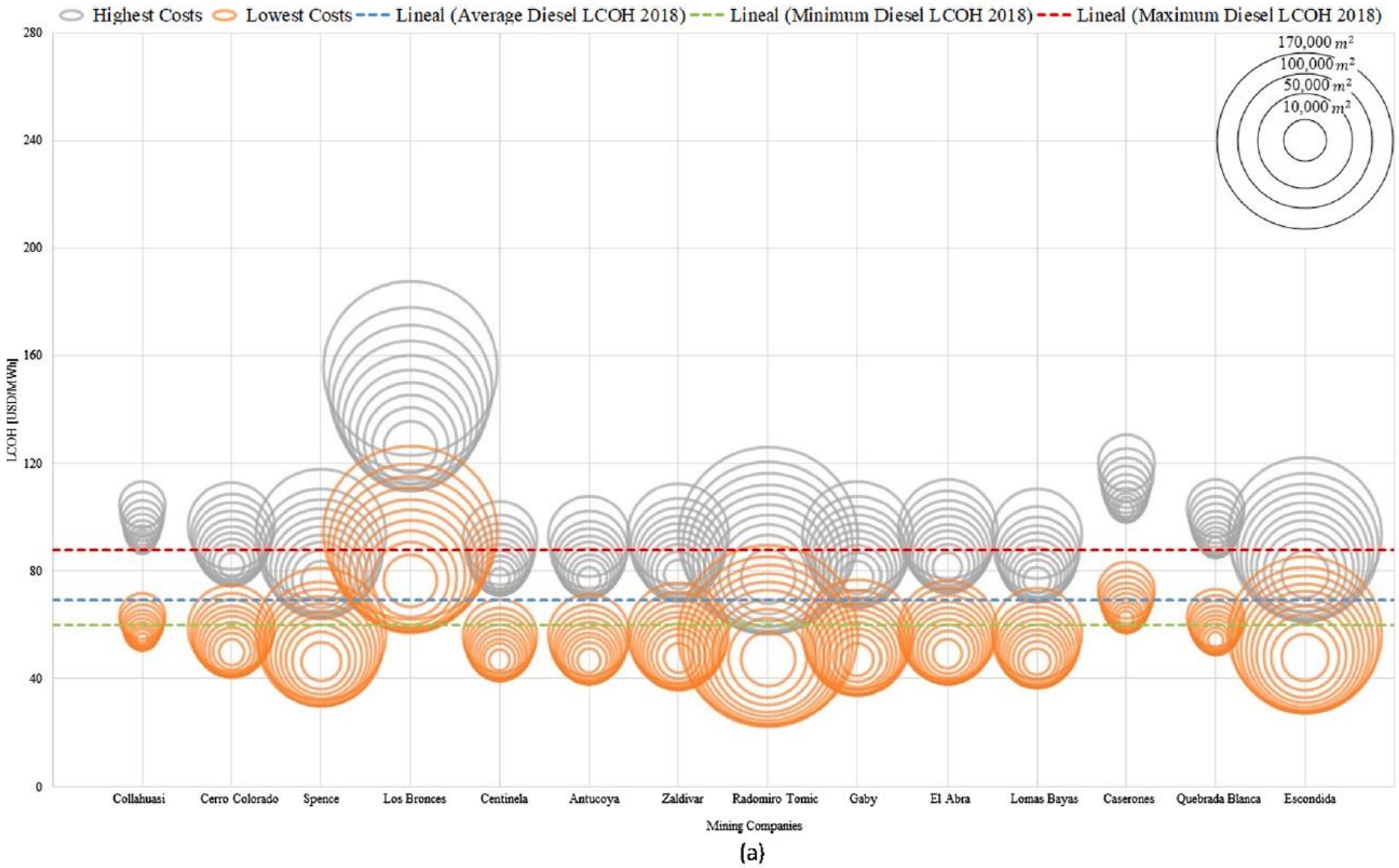


FIGURE 1: Alternative solar technologies to produce heat and integrate it in copper production

Valor agregado solar térmica

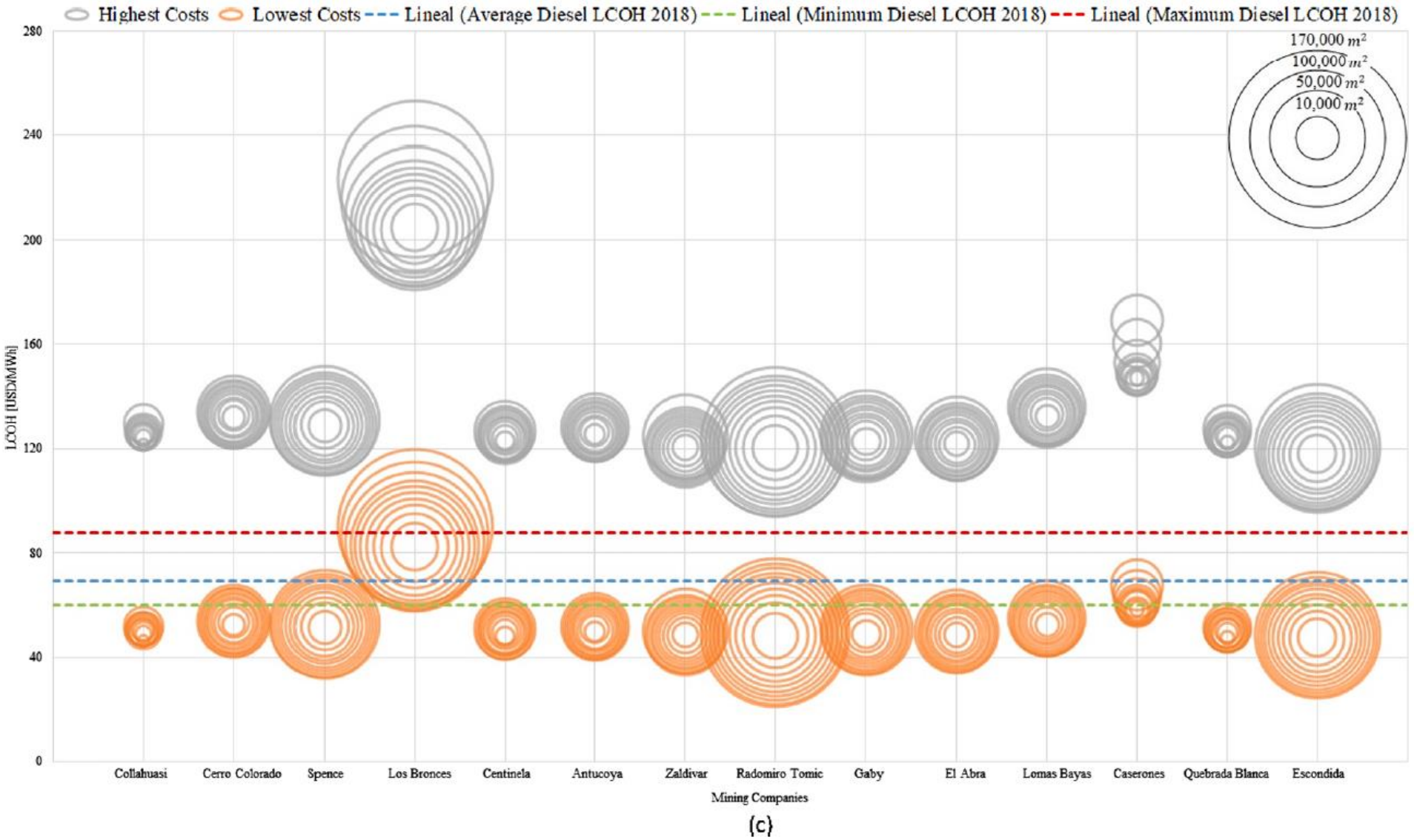
- Bajo costo efectivo de la energía térmica
  - LCOH < 40USD/MWh bajo 100ºC
- Garantía de suministro ante inestabilidades
- Independencia de la evolución de precios de combustible
- Independencia de variaciones normativas
- Independencia del sistema eléctrico
- Capacidad de acumulación con muy bajo costo específico
- Potencialidad de integración con bombas de calor y generación simultánea de calor y frío
- Tecnología bancable y financiable por terceros

LCOH con FPC



(a)

LCOH con PTC



(c)

Temario

Requerimientos de Calor en la Minería

Tecnologías Solares disponibles

Oportunidades de Calor Solar en Minería

Experiencias Calor Solar en la Minería e Industria

Sumario

Experiencias Calor Solar en la Minería

A pesar de la gran demanda de calor, en general existen pocas experiencias de Calor Solar en la Minería frente a las experiencia de Calor Solar en la Industria: existen pocos casos de plantas industriales en Chile, además de diversos prototipos.

Experiencias Calor Solar en la Minería

Pampa Elvira Solar	
Proceso Minero	EW
Tecnología Solar	FPC
Área [m^2]	39 300
Volumen acumulación [m^3]	4 300
Producción Calor [MWht/año] Según datos publicados.	54 000
Fracción Solar	55.8%

Experiencias Calor Solar en la Minería

El Tesoro - Centinela	
Proceso Minero	EW
Tecnología Solar	PTC
Área [m^2]	16 742
Volumen acumulación [m^3]	300
Producción Calor [MWht/año] Según datos publicados.	24 845
Fracción Solar	55.6%

Experiencias Calor Solar en la Minería

PILOTO SQM Coya Sur	
Proceso Minero	Productos intermedios para producción de Nitratos
Tecnología Solar	PTC
Área [m^2]	1.645
Producción Calor [MWht/año] Según datos publicados.	Por validar

Experiencias Calor Solar en la Minería

ULISSES - WeSSun	
Proceso Minero	EW
Tecnología Solar	ULISSES - WeSSun
Área [m^2]	100
Volumen acumulación [m^3]	35

Desarrollo de una tecnología apropiada para Calor en la Industria Minería:

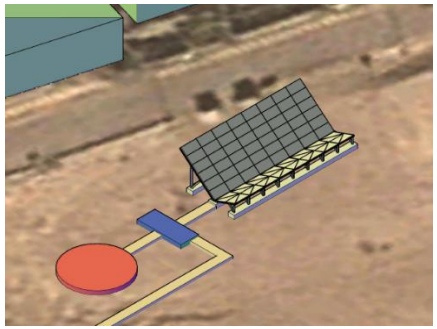
- Aprovechamiento alta radiación
- Robusta a las condiciones climatológicas

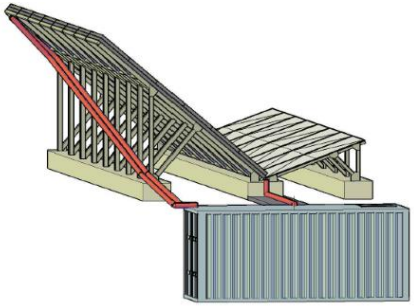
Desafiantes.

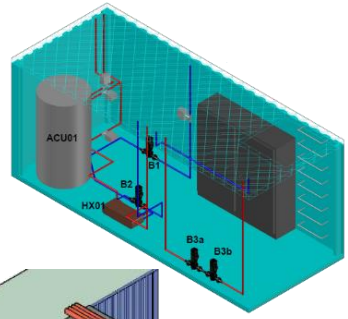
- Seguridad reforzada (Drainback).

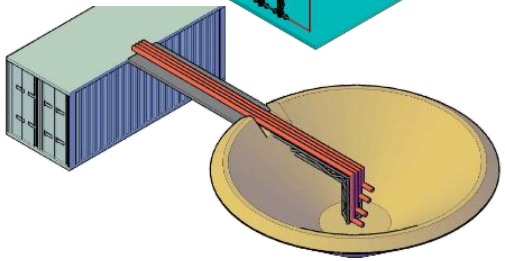
Que finalizo en la ejecución de un Piloto Exp. construido en la planta SBL-Chuquicamata.

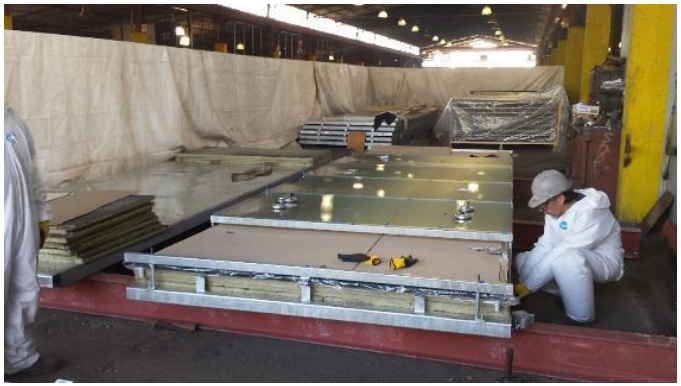
Experiencias Calor Solar en la Minería

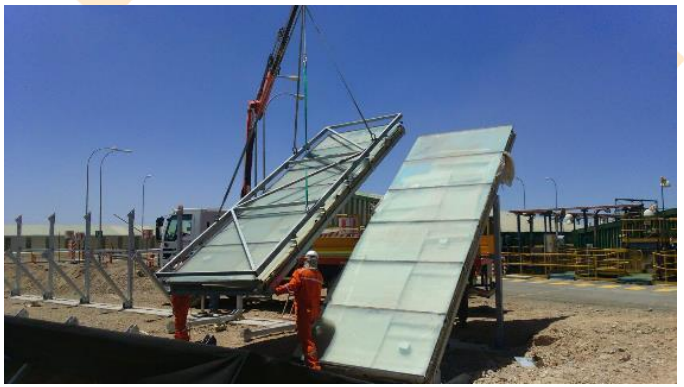








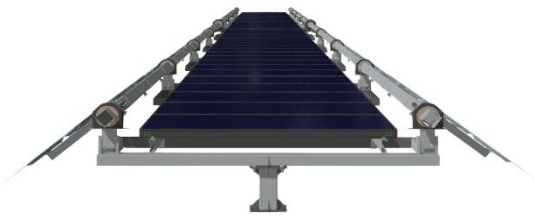




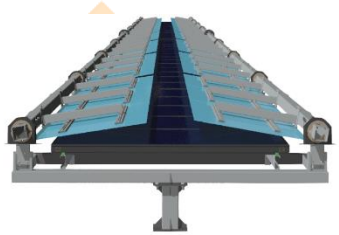
Experiencias Calor Solar en Industria

ULISSES - WeSSun	
Proceso	Calentamiento Evaporación (KDM)
Tecnología Solar	ULISSES – WeSSun. V2.0
Área [m^2] PROTOTIPO	100
Volumen acumulación [m^3]	0

Desarrollo de una tecnología apropiada para Calor en la Industria Minería sistemas seguridad mejorado ante el estancamiento y protección ante inclemencias meteorológicas.



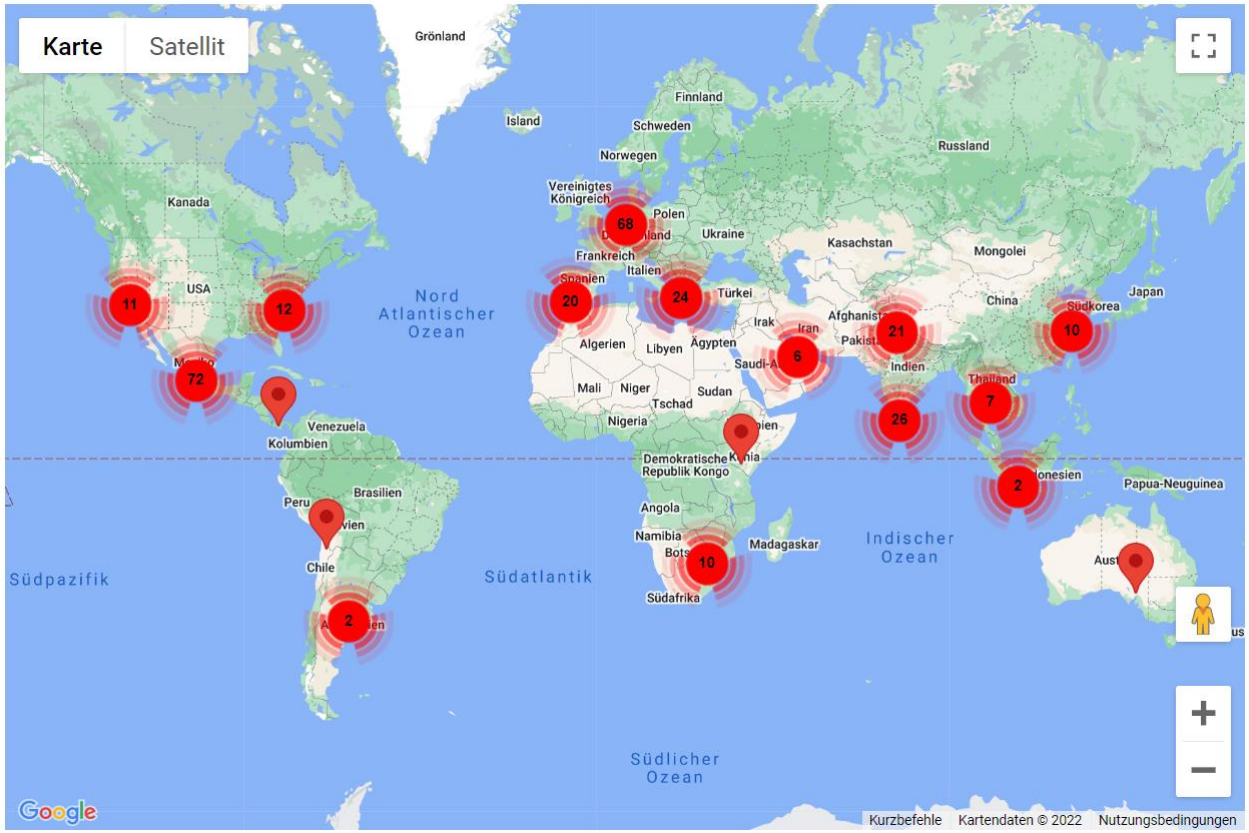
Overheating protection
When the system is loaded, the mirrors are folded covering the FPC maintaining the system safe against over-temperatures. Also at night, having collectors covered protects against cold radiation and protects the system against frost



Turtle position
During strong winds events, the mirrors moves to the most open position to reduce the Eolic Coefficient, and so therefore reduce the loads on the collector. As less are the loads, more the structure can be optimized

Experiencias Calor Solar en Industria

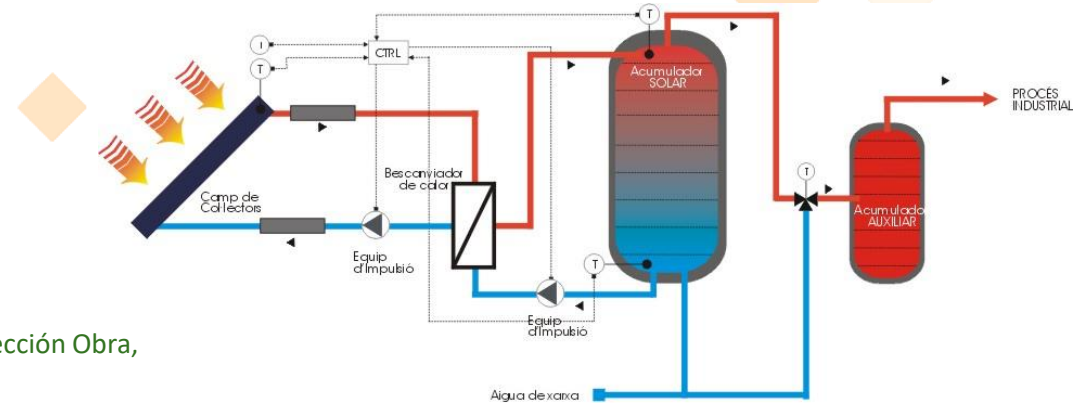
Hay una base de datos con más de 437 instalaciones solares de aplicación industrial en el mundo:



http://ship-plants.info/

Experiencias Calor Solar en Industria

Parking Service Castellbisbal	
Proceso	Limpieza
Tecnología Solar	FPC
Área [m^2]	510
Volumen acumulación [m^3]	45
Producción Calor [MWht/año]	500
Fracción Solar	25%

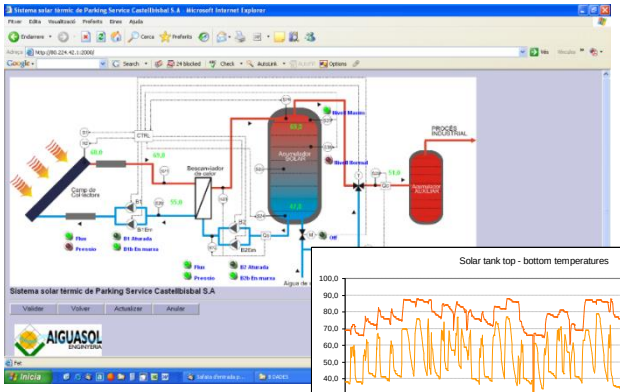


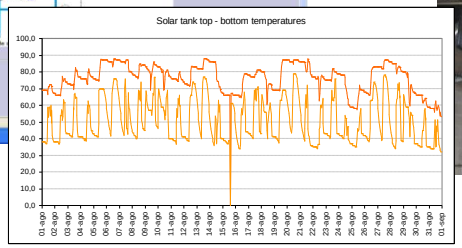
Fuente: *AIGUASOL (2003)* Encargada de la Ingeniería de Detalle, Dirección Obra, Puesta en Marcha y Monitorización del Sistema Solar

Experiencias Calor Solar en Industria

Ejemplo de correcta integración en sistema

- El diseño estructural de la cubierta tubo en consideración la posición entre filas de captadores.
- El diseño de la aportación a servicio tubo en consideración el sistema de presurización. Por consiguiente se diseño un acumulador no presurizado (reducción CAPEX) y una caída por gravedad hasta los sistema de presurización (ahorro OPEX).





Fuente: *AIGUASOL (2003)* Encargada de la Ingeniería de Detalle, Dirección Obra,Puesta en Marcha y Monitorización del Sistema Solar

Temario

- Requerimientos de Calor en la Minería
- Tecnologías Solares disponibles
- Oportunidades de Calor Solar en Minería
- Experiencias Calor Solar en la Minería e Industria
- Sumario

Sumario

1. Un 40% de la demanda energética de Chile corresponde al sector industrial.
2. La industria del Cobre es la mayor consumidora de combustible, con 21 TWh/año. De la demanda total de calor, un 40% corresponde a baja temperatura T < 100 °C, un 25% media temperatura 100 °C < T < 250 °C y el restante 35% a alta temperatura T > 250 °C.
3. Existen tecnologías solares disponibles para una gran amplitud de niveles térmicos. Aunque las de TRL mayor son las tecnologías para T < 250 °C, baja y media temperatura.
4. El potencial de integración de la tecnología es vasto, tanto con otros sistemas de generación de calor (como bombas de calor o sistema de cogeneración) como con las características inherentes del proceso minero

Sumario

5. Las PST son resilientes, independientes y mucho más económicas que los combustibles fósiles, a la vez que autónomas pero compatibles
6. Atención a los detalles de integración (contar con un asesoramiento profesional independiente)
7. Existencia de casos de éxito en la industria y minería. A pesar de la gran demanda de calor, aún existen pocas experiencias de Calor Solar en la Minería
8. Existe la necesidad de entregarle seguridad a la Industria Minera, asegurando que existe variedad de tecnologías Solares Térmicas, que pueden integrarse de forma robusta al sistema y producir ahorros. Necesidad de transmitir que la energía Solar Térmica puede ser una fuente de energía estable que puede asegurar la continuidad de la producción

aiguasol

aiguasol

dani.gonzalez@aiguasol.cl
catalina.bravo@aiguasol.cl

General Bustamante, 72 Of. 22, Providencia,
Santiago. Chile

(Chile) +56 2 2234 2484
(España) +34 647 46 69 07

www.aiguasol.cl