INFORME TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Proyecto FIC-R 2013 Atacama

PLANTA PILOTO PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS FLUIDOS DE

ALMACENAMIENTO SOLAR





UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA

Facultad de Ingeniería

Centro de Desarrollo Energético Antofagasta (CDEA)



Proyecto FIC-R 2013 Atacama

PLANTA PILOTO PARA EL DESARROLLO DE NUEVOS FLUIDOS DE

ALMACENAMIENTO SOLAR

Informe final para el Gobierno Regional de Atacama



Autor: Investigador responsable: Dr. Ángel Gabriel Fernández

Díaz-Carralero



INDICE

OBJETIVOS GENERALES

- Ensayo de nuevas composiciones de fluidos de almacenamiento
- Instalación de una planta piloto para realizar ensayos fluido dinámicos de estos nuevos fluidos de almacenamiento
- Optimización de los materiales para la fabricación de módulos de almacenamiento ó depósitos de almacenamiento líquido

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- -Estudio económico del módulo de almacenamiento
- -Transferencia tecnológica
- -Generación de redes intrainstitucionales e transregionales para el fomento del estudio del recurso solar en la macro zona norte.

ETAPAS

- Optimización de mezclas salinas a ensayar
- Operación: Pruebas de fluidez a diferentes temperaturas
- Análisis resultados corrosión
- Instalación y puesta en marcha de planta piloto
- Difusión de resultados generados en publicaciones, workshops, congresos y soportes escritos.

RESULTADOS

- 1. Resultado del proceso de optimización de mezclas salinas a ensayar
- 2. Resultados de la pruebas de fluidez
 - 2.1 Medición de las Propiedades Reológicas
 - 2.2 Resultados experimentales de viscosidad
 - 2.2.2 Mezcla de sal con adición de Nitrato de calcio
 - 2.2.1 Mezcla de sal comercial
 - 2.2.3 Mezcla de sal con adición de Nitrato de litio
- 3. Resultados estudio de corrosión
 - 3.1 Resultados del Acero al carbono A1
 - 3.2 Acero T11
 - 3.3 Acero T22
- 4. Instalación y puesta en marcha del módulo de almacenamiento
 - 4.1 Diseño de módulo de almacenamiento solar
- 5. Ejecución de las etapas
- 6. Resultados
- 7. Resultados de difusión y transferencia tecnológica

ESTUDIO ECONÓMICO Y DE FACTIBILIDAD

DESGLOSE PRESUPUESTARIO Y RENDICIÓN ECONÓMICA

ANEXOS

DATOS DEL PROYECTO

- Nombre del proyecto: Planta Piloto para desarrollar nuevos fluidos de almacenamiento de energía solar.
- Ejecutor: Universidad de Antofagasta.
- Director Proyecto: Dr.Ángel Fernandez Diaz.
- Proyecto Financiado con Aportes del Fondo de Innovación para la Competitividad de Asignación Regional FIC-R 2013 del Gobierno Regional de Atacama.

RESUMEN

Como la energía solar no se dispone en forma continua, por ejemplo en días nublados o en la noche, es fundamental contar con un sistema de almacenamiento de energía solar eficiente. Actualmente el fluido usado como almacenador de energía en centrales solares de concentración es la mezcla binaria 60%NaNO3 + 40%KNO3 (ambas sales se producen a partir de los yacimientos salinos existentes en Chile ó mediante procesos sintéticos), la cual ha permitido la construcción de plantas comerciales a nivel mundial, llegándose a alcanzar hasta 15 horas de almacenamiento energético.

Sin embargo, el elevado punto de fusión que posee la sal binaria 60%NaNO3 + 40%KNO3 (223°C) requiere un gasto energético muy alto para

mantenerla circulando en estado líquido a lo largo de toda la instalación solar. Por lo tanto, es necesario la mejora de este fluido para construir futuras generaciones de centrales termosolares más baratas y rentables.

En base a ello, **los objetivos generales** de este proyecto han sido :

- Ensayo de nuevas composiciones de fluidos de almacenamiento.
- Instalación de una planta piloto para realizar ensayos fluido dinámicos de estos nuevos fluidos de almacenamiento.
- Optimización de los materiales para la fabricación de módulos de almacenamiento ó depósitos de almacenamiento líquido.

Los **objetivos específicos** del proyecto han sido el estudio económico tanto de la construcción de un modulo de almacenamiento, así como la difusión y transferencia tecnológica de los resultados obtenidos en forma de este documento.

El proyecto aprobado presenta una planta piloto de almacenamiento térmico con circuito cerrado, el cual permite llevar a cabo el escalado previo a su aplicación en planta comercial.

Con los ensayos llevados a cabo, además de corroborar, los buenos resultados obtenidos a baja temperatura en las nuevas formulaciones de sales, en experiencias previas, se ha ampliado el rango de trabajo superior de estas mezclas, ampliando la estabilidad térmica de la sal (con probada fluidez en la planta) durante un tiempo considerable de trabajo.

Estas nuevas formulaciones salinas pueden emplearse con total fiabilidad para la obtención y almacenamiento de energía en función de las demandas comerciales.

Los ensayos de almacenamiento y fluidez propuestos en la planta piloto podrán ser aplicados en la industria minera otorgando la modularidad necesaria para generar electricidad cuando ésta sea requerida.

Las **etapas** llevadas a cabo en el proyecto son las siguientes:

- Optimización de mezclas salinas a ensayar
- Operación: Pruebas de fluidez a diferentes temperaturas
- Análisis resultados corrosión
- Instalación y puesta en marcha de planta piloto
- Difusión de resultados generados en publicaciones, workshop, congresos y soportes escritos.

RESULTADOS

1. Resultado del proceso de optimización de mezclas salinas a ensayar

En el apartado de optimización de mezclas a ensayar, se ha realizado una amplia revisión bibliográfica de los fluidos con mayor potencial a ser utilizado en el almacenamiento térmico solar de concentración.

Los dos aditivos con mayor potencial a emplearse en esta tecnología son el nitrato de calcio y el nitrato de litio, empezándose a investigar las mezclas eutécticas de composición 48%Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃ y 20%LiNO₃ + 52%KNO₃ + 28%NaNO₃.

Junto con estas mezclas también se ha evaluado la mezcla binaria 60%NaNO3 + 40%KNO3, la cual es utilizada actualmente en las plantas comerciales y la cual será tomada como referencia a lo largo de este proyecto.

Durante los primeros meses de proyecto se llevo a cabo la caracterización térmica de las mezclas indicadas, realizándose estudios DSC y TGA con el objetivo de conocer sus puntos y entalpias de fusión, así como la estabilidad térmica.

Junto con estos estudios se ha realizado un análisis visual del proceso de fusión de la sal.

Las sales estudiadas inicialmente fueron: 48%Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃ y 20%LiNO₃ + 52%KNO₃ + 28%NaNO₃, las cuales son referenciadas en la bibliografía como las composiciones eutécticas (las de menor punto de fusión), comparándose ambas con la mezcla binaria solar 60%NaNO₃ + 40% KNO₃, utilizada como fluido de almacenamiento solar en la actual tecnología.

Los resultados térmicos obtenidos fueron los siguientes:

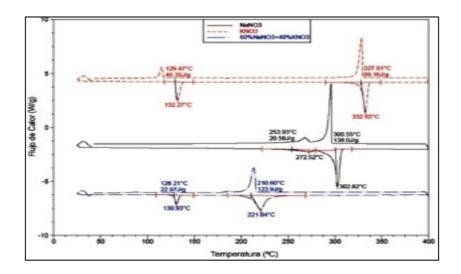


Figura 1: Estudio DSC NaNO3 (negro), KNO3 (rojo) y mezcla eutéctica binaria (azul). Se ha determinado que la fusión de la mezcla binaria 60% NaNO3 + 40% KNO3 de sal estudiada presenta una transición solido-solido a 130°C, encontrándose el punto de fusión a 221,04°C. Estos datos coinciden con los referenciados por la bibliografía.

El objetivo de estos ensayos fue la determinación de los rangos de trabajo reales de estas sales en la planta piloto, realizándose para ello un estudio del aspecto visual de la sal a diferentes temperaturas, manteniéndose dicha estabilización de la temperatura durante 2 horas.

El aspecto visual de la sal se muestra en la figura 2.

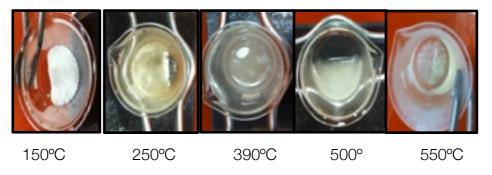


Figura 2: Aspecto visual de la mezcla binaria solar a 150, 250, 390, 500 y 550°C.

A 150°C la mezcla salina se encuentra todavía en estado sólido, presentándose fundida a 250°C. El aspecto de la sal a 390°C, temperatura de almacenamiento en centrales solares con colectores cilindro parabólicos, es fluido y de aspecto cristalino, tornando este a más amarillento a partir de 500°C, advirtiéndose la presencia de pequeños óxidos (de sodio y potasio) en el fondo del recipiente, como consecuencia del inicio de la descomposición de la sal.

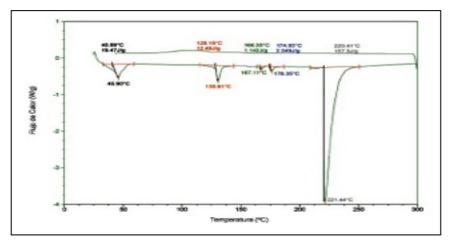


Figura 3 : Curva descomposición térmica (TGA) de mezcla binaria.

Junto a este ensayo se ha realizado un estudio de descomposición térmica (figura 3), estableciéndose una temperatura máxima de descomposición (pérdida del 3% en peso) de 588,51°C.

Junto con esta sal se analizo la mezcla eutéctica ternaria de calcio de composición 48%Ca(NO₃)₂+7%NaNO₃+45%KNO₃, obteniéndose la figura 4:

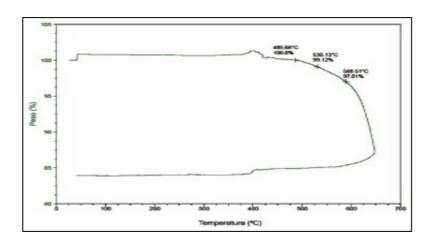


Figura 4: Análisis térmico de la mezcla 48%Ca(NO₃)₂ + 7% NaNO₃ + 45%KNO₃.

Esta gráfica refleja las transiciones y transformaciones ocurridas en la sal ternaria de calcio, en la cual se puede observar una primera transición debida a la pérdida de agua (45,90°C) y la señal correspondiente a la fusión a 130,61°C.

El resto de señales observadas corresponden a las pérdidas de agua intramolecular presentes en la sal, destacando la ocurrida a 221,44°C, la cual necesita mayor ΔH al arrastrar el agua más ocluida. Para comprobar que las señales obtenidas se encuentran correctamente asignadas se realiza una observación del aspecto de la sal a diferentes temperaturas, manteniéndose dicha estabilización de la temperatura durante 2 horas.

El aspecto visual encontrado se muestra en la figura 5.

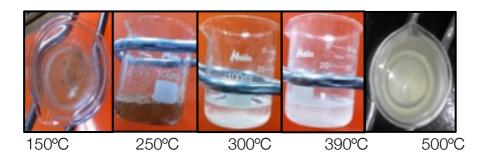


Figura 5: Aspecto visual de la mezcla ternaria de calcio a 150, 200, 300, 390 y 500°C.

La sal está fundida a 150°C, siendo favorecida esta fusión por el contenido en agua del nitrato de calcio, tornando su color a más oscuro al empezar a producirse reacciones de reducción de nitratos a nitritos, así como la liberación de NO_x a la atmósfera.

A partir de 300°C la sal se torna cristalina (mejorando la fluidez de la mezcla) presentando cierto contenido en sólidos, depositados en el fondo del vaso donde se realiza la inspección a partir de 500°C, empezando por tanto su descomposición.

La descomposición térmica de la sal fue determinada a través del estudio TGA obteniéndose la curva mostrada en la figura 6:

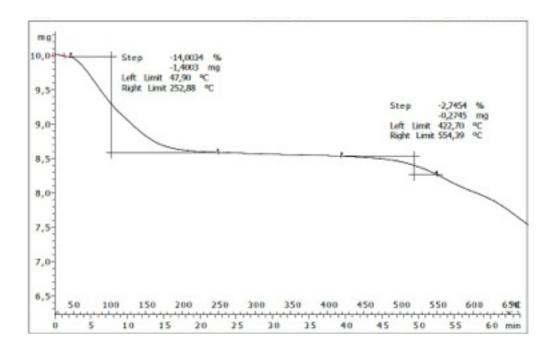


Figura 6: Estudio de la estabilidad térmica obtenida en la sal ternaria de calcio.

La curva muestra una pérdida de peso inicial entre 42,9 y 252,8°C debida a la eliminación de agua contenida en la mezcla. Posteriormente empieza su descomposición a 422,7°C, perdiendo un 2,7% en peso a la temperatura de 554°C.

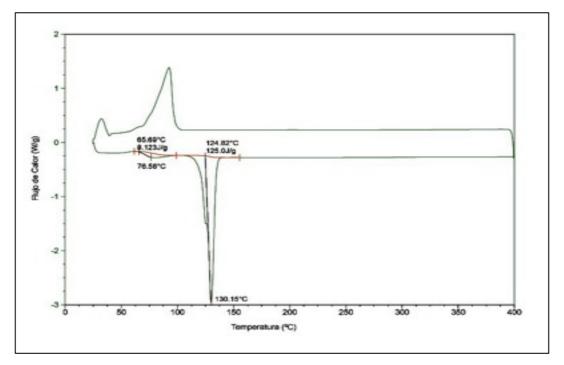


Figura 7: Análisis térmico de la mezcla 20%LiNO3 + 52%KNO3 + 28%NaNO3.

La tercera mezcla estudiada, ha sido la mezcla eutéctica de litio formada por la composición 20%LiNO₃+52%KNO₃+28%NaNO₃.

La figura 7 refleja una primera señal a 76,5°C correspondiente a la pérdida del contenido en agua de la mezcla, junto a la señal correspondiente a la fusión de la mezcla a 130,15°C.

La energía requerida para fundir la mezcla es 125 J/g.Al igual que en anteriores mezclas, se ha analizado el aspecto de la sal a diferentes temperaturas, manteniéndose dicha estabilización de la temperatura durante 2 horas. El aspecto visual encontrado se muestra en la siguiente figura.

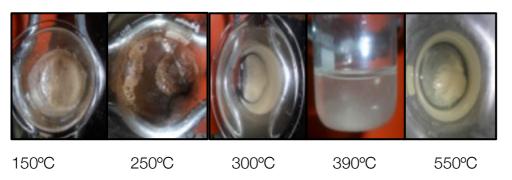


Figura 8: Aspecto visual de la mezcla ternaria de litio a 150, 250, 300, 390 y 550°C.

A 150°C la muestra presenta un aspecto fundido, aunque se generan espumas en la superficie, debido principalmente a la falta de homogeneidad en el fundido y al tener contenido en agua la mezcla.

A 250°C, la sal se torna a un color más oscuro, al empezar a darse reacciones de reducción de nitratos en la sal, para ir cambiando a un color más claro a medida que se aumenta la temperatura, alcanzándose una fluidez total y cristalinidad a la temperatura de trabajo de la central solar parabólica, 390°C. A 550°C se puede observar en la sal cierto contenido solido en el fondo del vaso, el cual corresponde a los sólidos de litio, Li₂O y Li₂O₂, formados al comienzo de la descomposición de la sal.

La curva de estabilidad térmica TGA obtenida se refleja en la figura 9:

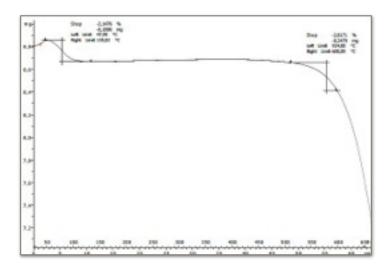


Figura 9: Estabilidad térmica TGA mezcla ternaria 20%LiNO3 + 52%KNO3 + 28%NaNO3.

La curva térmica de la mezcla con el aditivo de nitrato de litio presenta una muy buena estabilidad térmica, comenzando la descomposición a 514°C y perdiendo un 2,8% de su masa a 600,05°C. Los resultados térmicos reflejados en este informe corresponden a las curvas mas representativas entre las realizadas.

De cada sal ensayada se han realizado una media de 5 ensayos térmicos para cada mezcla, encontrándose unos valores mas reproducibles a la velocidad de calentamiento de 10°C/min, los cuales han sido seleccionados en este informe.

Los resultados obtenidos, revelan un gran potencial de uso en las mezclas ternarias con nitrato de litio y calcio, ampliando el rango de trabajo respecto a la mezcla binaria usada actualmente.

A continuación se realizó un estudio conjunto de estos aditivos, completándose la caracterización térmica de ambos. La composición elegida para el estudio conjunto de mezclas ternarias de nitrato de litio y calcio fue: 30%LiNO₃ + 60%KNO₃ + 10%Ca(NO₃)₂. El análisis térmico realizado en la sal

mediante DSC, con una rampa de calentamiento de 10°C/min y atmósfera inerte de nitrógeno, refleja la curva térmica obtenida en la figura 10.

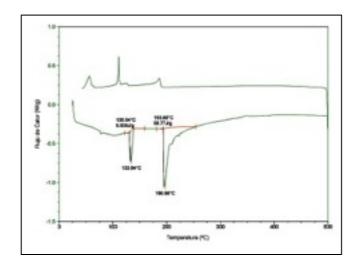


Figura 10: Análisis térmico de la mezcla 30%LiNO3+60%KNO3+10%Ca(NO3)2.

De las dos señales obtenidas en la curva de calentamiento, a priori resulta complicado asignar la correspondiente a la fusión, ya que el primer pico a 133,94°C, puede deberse a la transición α-β (orden-desorden) del KNO₃, al tener la mezcla un elevado contenido en este componente. Para discernir este hecho, se ha realizado una curva térmica cíclica, la cual consiste en realizar un primer ciclo hasta 200°C, seguido de un enfriamiento a temperatura ambiente, para finalmente realizar de nuevo la curva térmica hasta 400°C. El comentado ciclado térmico se refleja en la figura 11.

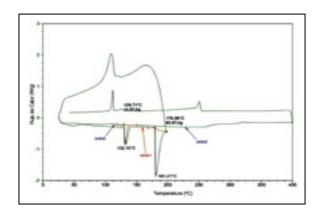


Figura 11: Ciclado térmico realizado en la sal ternaria de litio y calcio.

En el primer ciclo se obtienen las comentadas señales a 132 y 181°C, de las cuales, al realizar de nuevo el calentamiento solo se mantiene la primera transición a 132°C, asignándose tal señal a la fusión de la mezcla.

Sin embargo la segunda señal a 181°C corresponde a la eliminación del contenido en agua intramolecular de la mezcla, la cual no aparece en el segundo ciclo, al quedar retenida en la parte superior de la cápsula de aluminio hermética en la que se realizan los ensayos de DSC.

Se ha realizado una observación del aspecto de la sal a diferentes temperaturas, manteniéndose dicha estabilización de la temperatura durante 2 horas. El aspecto visual encontrado se muestra en la figura 12.

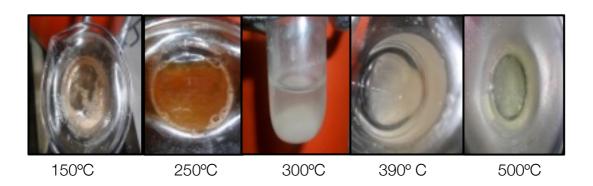


Figura 12: Aspecto visual de la mezcla ternaria de litio a 150, 250, 300, 390 y 500°C.

Como en mezclas anteriores, en el aspecto visual de la mezcla se comprueba que la fusión de la sal se alcanza antes de 150°C, obteniéndose en este caso un color menos oscuro en la mezcla mantenida a 250°C.

El estudio de estabilidad térmica de la sal presento los siguientes resultados:

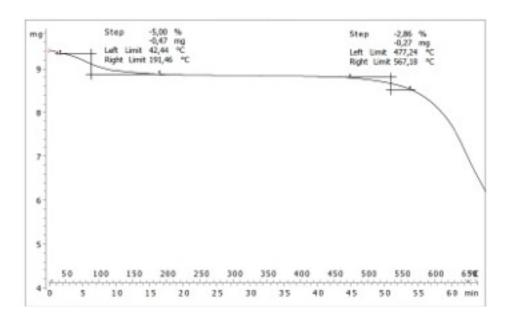


Figura 13: TGA mezcla ternaria de nitrato de litio y calcio.

Como se observa en la figura, la sal empieza a descomponer a 477°C, encontrándose una perdida de 2,86% en peso a 567°C. El estudio de la capacidad calorífica de la sal, se llevo a cabo mediante la técnica MDSC, obteniéndose los resultados reflejados en la figura 14:

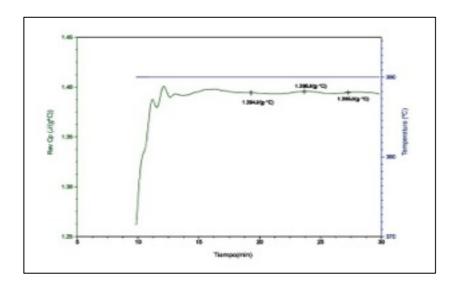


Figura 14: Capacidad calorífica obtenida en sal ternaria Li/Ca a 390°C.

Es importante destacar que la capacidad calorífica ha sido evaluada a 390°C, ya que es la temperatura de almacenamiento en que podría aplicarse en las centrales solares de concentración.

En base a los buenos resultados encontrados en esta mezcla ternaria compuesta por los aditivos de nitrato de calcio y litio, se ha intentado desarrollar una nueva mezcla cuaternaria con los cuatro aditivos ensayados a la vez, es decir, nitrato de calcio, litio, sodio y potasio. En este caso se ha tratado de realizar una mezcla atractiva comercialmente, con un 10% de LiNO₃+10%Ca(NO₃)₂+20%NaNO₃+60%KNO₃.

La curva térmica mostrada en la figura 15 revela que la fusión de una mezcla de cuatro componentes presenta cierta dificultad.

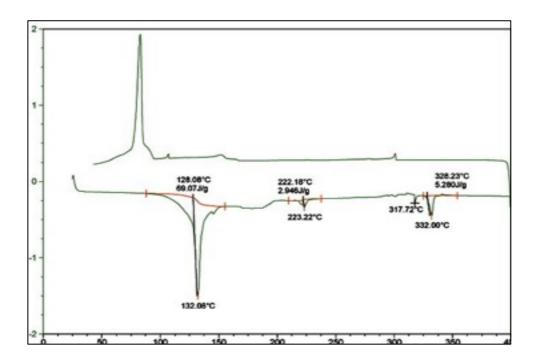


Figura 15: DSC en la mezcla 10%LiNO₃ + 10%Ca(NO₃)₂ + 20%NaNO₃ + 60%KNO₃.

La primera señal obtenida (132°C) corresponde a la fusión principal del material, aunque las señales obtenidas, por encima de 300°C, corresponden a componentes de la sal cuyo contenido no ha sido totalmente fundido. A 223°C, la

señal obtenida corresponde a una pequeña eliminación del contenido de agua intramolecular, procedente del contenido en nitrato de calcio en la sal.

Las transiciones observadas en el estudio térmico por encima de 300°C, corresponden a contenido en KNO₃, que no ha fundido con el resto de componentes, pero esta cantidad no es elevada ya que tan solo se necesitan 5,2 J/g de energía para fundirla. La señal coincide con el valor bibliográfico y experimental obtenido para la fusión del nitrato de potasio.

La mezcla cuaternaria presenta la curva de estabilidad térmica mostrada en la figura 16.

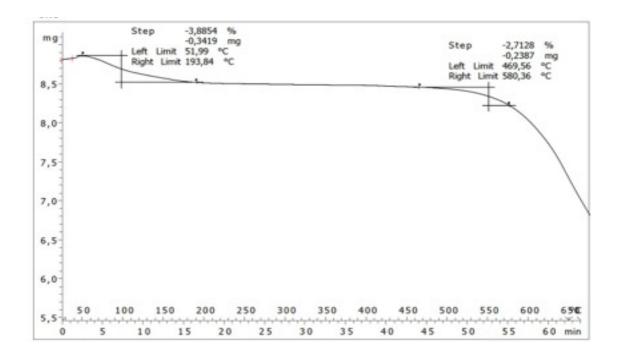


Figura 16: Curva de descomposición térmica de la mezcla cuaternaria.

La curva muestra una pequeña pérdida de peso inicial, debida al contenido en agua de la mezcla, dando paso posteriormente al comienzo de la descomposición a 469,56°C, llegando a perderse un 2,7% en peso a la temperatura de 580,36°C.

Se ha realizado una observación del aspecto de la sal (a lo largo del proceso térmico) a diferentes temperaturas, manteniéndose dicha estabilización de la temperatura durante 2 horas.

El aspecto visual encontrado se muestra en la figura 17.

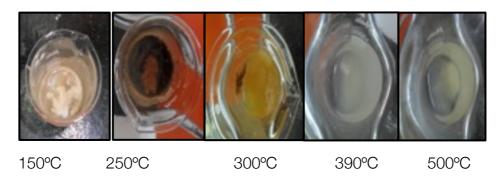


Figura 17: Aspecto visual de la cuaternaria a 150, 250, 300, 390 y 500°C.

A 150°C la mezcla aparece fundida, aunque es de destacar la presencia de espumas en la superficie del fluido, cambiando la coloración de la sal a 250°C (reacciones de reducción de nitratos) hasta mostrarse más cristalina a 390°C.

El aspecto visual de la mezcla salina a 500°C muestra pequeños posos en el fondo del vaso de precipitados, correspondientes al comienzo del proceso de descomposición.

El análisis realizado mediante DSC modulado (figura 18), refleja que la capacidad calorífica de la mezcla cuaternaria propuesta es de 1,518 J/g °C, mejorándose los valores obtenidos para la actual mezcla binaria 60% NaNO₃ + 40% KNO₃, usada en esta tecnología.

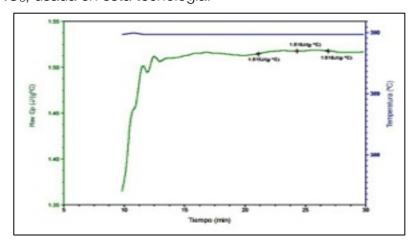


Figura 18: Capacidad calorífica de la sal cuaternaria.

Es importante destacar este hecho ya que la sal diseñada podría almacenar mayor energía, usándose un menor volumen de sal para dicho objetivo.

2. Resultados de la pruebas de fluidez

Una importante componente en la optimización del sistema de almacenamiento de energía térmica es seleccionar el fluido de trabajo utilizado, maximizando el rendimiento del fluido de transferencia de calor y reducir al mínimo el coste del material.

Las propiedades físicas de los fluidos de transferencia de calor, tales como, la viscosidad, densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica, son necesarios para realizar cálculos de diseño de ingeniería en los sistemas de almacenamiento de energía. La viscosidad es particularmente importante ya que influye fuertemente en los costos de bombeo en un sistema de tuberías extendidas.

En esta etapa del proyecto se ha estudiado el comportamiento reológico de tres mezclas de sales mediante un Reómetro Brookfield DV-III Ultra programable. El funcionamiento del reómetro de Brookfield, (ver Figura 1), se basa en el principio de la viscosimetría rotacional, mide la viscosidad captando el par

de torsión necesario para hacer girar a velocidad constante un husillo inmerso en la muestra de fluido a estudiar.



Figura 19. Reómetro de Brookfield DV-III Ultra.

El par de torsión es proporcional a la resistencia viscosa sobre el eje sumergido, y en consecuencia, a la viscosidad del fluido. Se ha utilizado una aguja SC4-18 y un horno Thermosel con controlador de temperatura para mediciones de viscosidades desde temperatura ambiente hasta 300°C programa RHEOCALC 32 que permite ensayos totalmente automatizados con el computador.

2.1 Medición de las Propiedades Reológicas

Se determinó la viscosidad desde temperaturas cercanas a la fusión (10 o 20°C por encima de la fase liquida) de cada mezcla hasta 300"C, para cada temperatura estudiada se ha variado las RPM desde 10 hasta 150, con incrementos de 10 RPM. Las temperaturas utilizadas corresponden al rango del tratamiento térmico que se requieren para este proyecto.

La sal fundida se mantuvo por un tiempo aproximado de 20 minutos antes de cada medición de manera que alcanzara un estado estable de equilibrio. Cada prueba se realizó por duplicado.

En general, la exactitud de la medida aumenta cuando la lectura se aproxima al 100%.

Metodología y procedimiento para la medición de viscosidad:

- Se agrega la muestra a ensayar en la cámara de muestras, aproximadamente 9 gr.
- Se introduce la cámara de muestra en el thermosel y se programa temperatura de medición (ver Figura 2).
- Para la primera medición de viscosidad se realiza el auto cero con la ayuda del software.
- Una vez fundida la muestra, introducir la aguja SC4-18 hasta la marca de inmersión.
- Esperar 20 minutos para llegar a una estabilidad térmica.
- Realizar programa de medición variando las RPM desde 10 hasta 150 para una temperatura dada. Para cada RPM se toman datos cada 10 segundos por dos minutos. Luego se sacan promedios de estos 12 datos para cada RPM. Por último se grafican los datos promedios para cada RPM como se muestra en la Figura 3.
- La exactitud de una lectura particular depende del porcentaje de torque leído.



Figura 20. Cámaras de muestra de aluminio.

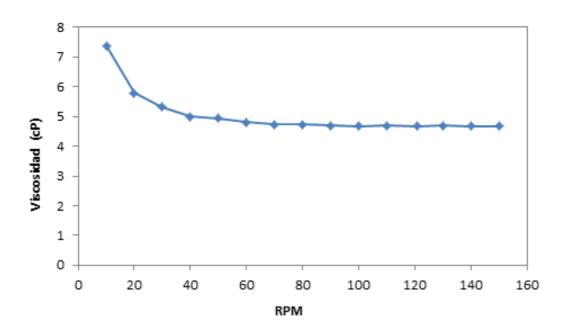


Figura 21. Prueba de viscosidad en función de las rpm para la sal Binaria a 300°C.

2.2 Resultados experimentales de viscosidad

Todas las pruebas se realizaron con nitrato de sodio y nitrato de potasio producidos y cedidos por la empresa SQM. S.A.

Los ensayos de corrosión se han llevado a cabo con las siguientes mezclas:

Mezcla de sal comercial:

60% NaNO₃ + 40% KNO₃

Mezcla de sal con adición de Nitrato de calcio:

48%Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃

Mezcla de sal con adición de Nitrato de litio:

20%LiNO₃ + 52%KNO₃ + 28%NaNO₃

2.2.1 Mezcla de sal comercial: 60% NaNO₃ + 40% KNO₃

Se midieron las viscosidades dinámicas para la mezcla comercial de 60% NaNO₃+40% KNO₃ (binaria) desde 230°C hasta 290°C.

Las pruebas se realizaron con velocidades de cizallamiento controlada desde 10 rpm hasta 150 rpm. Las viscosidades reportadas se obtienen a una velocidad de cizalle de 100 RPM (valor de viscosidad donde se observa constante hasta el final de la prueba).

Tabla 1. Viscosidad para mezcla Binaria desde 230 hasta 290°C.

Temperaturas (°C)	Viscosidad (cP)
230	6,70
250	5,51
270	4,83
290	4,68

Para esta prueba se obtiene la siguiente correlación cuadrática de la viscosidad en función de la temperatura, con un coeficiente de correlación de R²=1.

$$\mu = 0.0006 T^2 + 0.3717T + 57.807$$
 (ec.1)

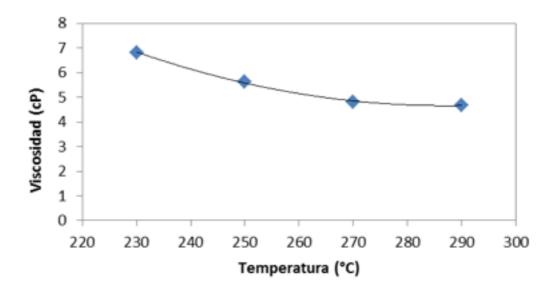


Figura 22. Gráfica de viscosidad en función de la temperatura para mezcla binaria 60% NaNO3+40% KNO3.

2.2.2 Mezcla de sal con adición de Nitrato de calcio: 48%Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃

Se midieron las viscosidades dinámicas para la mezcla Ternaria 48%Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃ (ternaria 1) desde 140°C hasta 290°C. Las pruebas se realizaron con velocidades de cizallamiento controlado desde 10 rpm hasta 150 rpm.

Las viscosidades reportadas se obtienen a una velocidad de cizalle de 100 RPM (valor de viscosidad donde se observa constante hasta el final de la prueba).

Tabla 2. Viscosidad para mezcla Ternaria 48%Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃ desde 140 hasta 290°C.

Temperaturas (°C)	Viscosidad (Cp)
140	32,99
150	23,58
160	29,1

170	26,59
180	23,3
190	21,18
240	11,22
290	7,42

Para la mezcla Ternaria 1 se obtiene la siguiente correlación exponencial para la viscosidad en función de la temperatura, con un coeficiente de correlación de R²= 0,9565.

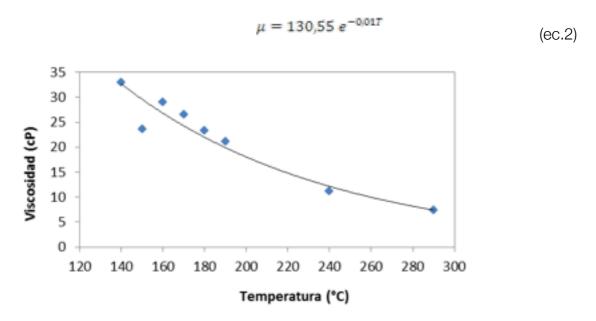


Figura 23. Gráfica de viscosidad en función de la temperatura para mezcla Ternaria 48%Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃.

2.2.3 Mezcla de sal con adición de Nitrato de litio: 20%LiNO₃ + 52%KNO₃ + 28%NaNO₃

Se midieron las viscosidades dinámicas para la mezcla Ternaria 20%LiNO₃ + 52%KNO₃ + 28%NaNO₃ (ternaria 2) desde 140°C hasta 290°C. Las pruebas se realizaron con velocidades de cizallamiento controlada desde 10 rpm hasta 150 rpm. Las viscosidades reportadas se obtienen a una velocidad de cizalle de 100 RPM (valor de viscosidad donde se observa constante hasta el final de la prueba).

Tabla 3. Viscosidad para mezcla Ternaria 20%LiNO3+52%KNO3+28%NaNO3 desde 140 hasta 290°C.

Temperaturas (°C)	Viscosidad (Cp)
130	24,62
140	19,34
150	16,55
160	13,87
170	12,22
180	11,08
190	9,81
240	6,3
290	5,5

Para la mezcla Ternaria 2 se obtiene la siguiente correlación cuadrática para la viscosidad en función de la temperatura, con un coeficiente de correlación R^2 = 0,9702.

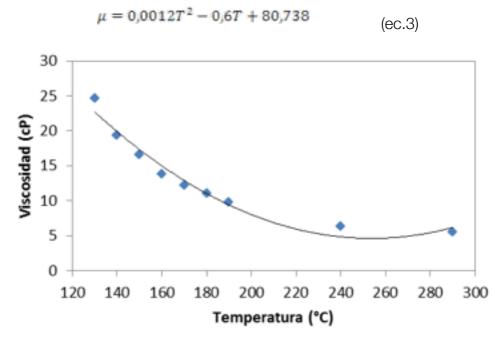


Figura 24. Gráfica de viscosidad en función de la temperatura para mezcla ternaria 20%LiNO₃+52%KNO₃+28%NaNO₃.

Estudio de las tres mezclas superpuestas

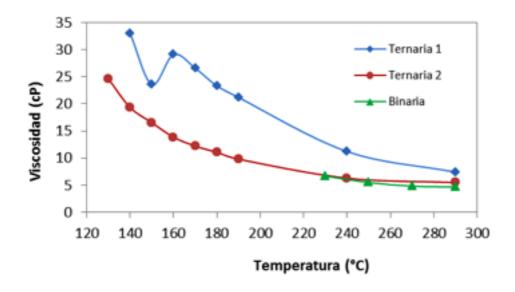


Figura 25. Gráfica de viscosidad en función de la temperatura para las tres mezcla estudiadas.

El estudio de viscosidad de estas mezclas revela:

- La mezcla Ternaria 2 (con nitrato de litio) y Binaria tienen un comportamiento similar casi superponiéndose las curvas de viscosidad en función de la temperatura.
- La mezcla ternaria 1 (con nitrato de calcio) tiene un peak con una temperatura inferior a los 150°C, este comportamiento se observó en las dos réplicas para esta misma temperatura y sus viscosidades son más altas que la mezcla ternaria 2 y binaria (para 190°C su viscosidad es 21,18 cP mientras que para ternaria 2 es de 9,81 cP)
- Todas la mezclas tienen una tendencia a disminuir la viscosidad a medida que aumenta la temperatura
- Los datos de la mezcla binaria obtenido con las sales de nitrato industrial son similares a las reportadas en literatura utilizando sales p.a. comerciales.

Con estos resultados reportados de viscosidad ya se puede construir una tabla comparativa de los resultados obtenidos hasta la fecha y que reflejan el buen comportamiento de las sales seleccionadas para su estudio en este proyecto.

Tabla 4: Parámetros físico-químicos obtenidos en la primera etapa de proyecto.

Sales fundidas	Punto de fusión(°C)	Capacidad calorífica (J/g°C)	T comienzo descomposición (°C)	T perdida 3% peso (°C)
Sal binaria	221.04	1,481	485,68	588,51
Ternaria Ca	130,61	1,272	422,70	554,39
Ternaria Li	130,15	1,091	514	600,05
Ternaria Li-Ca	133,94	1,395	477,24	567,18
Cuaternaria	132,06	1,518	469,56	580,36

Hasta la fecha se han diseñado 5 sales fundidas, las cuales presentan una importante mejora en el punto de fusión, en comparación a la sal binaria solar que se emplea actualmente como fluido de almacenamiento en la tecnología solar de concentración.

Dichas mezclas han sido estudiadas en términos de viscosidad ya que en su posterior estudio en el modulo solar es importante saber a que temperaturas las mezclas de sal no van a dar problemas en este parámetro.

La siguiente figura muestra el comportamiento conjunto de todas las sales diseñadas:

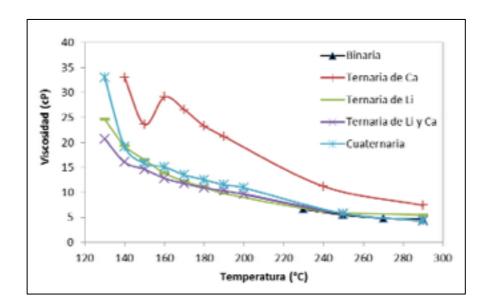


Figura 26. Resultados comparativos de la viscosidad de las sales.

Según los resultados obtenidos, las sales diseñadas poseen valores razonables de viscosidad y su uso es recomendable a partir de 140°C en el módulo de almacenamiento a construir.

Otra de las propiedades mas importantes a evaluar, dadas las condiciones de temperatura que se requieren en las plantas de concentración solar, es la corrosión provocada por los nitratos fundidos en los aceros que conforman la central solar.

3. Resultados estudio de corrosión

Se realizaron estudios gravimétricos de ganancia de masa, a elevada temperatura durante 1000 horas, en aceros comerciales con la composición indicada en la tabla 5, para tener un valor de referencia al cual comparar posteriormente con los resultados obtenidos en el módulo de almacenamiento, así como para evaluar el comportamiento de diferentes aceros y analizar su mayor o menos interés

Tabla 5: Composición en % peso de los aceros ensayados en la investigación.

Aggrega		% EN PESO														
Aceros	Si	Al	Mn	Sn	Ni	Cu	Cr	Р	Мо	Ti	Nb	Co	С	S	N	W
AISI 304	0,4	-	1,7	0,01 6	8,04	0,32	18,2 8	0,02 9	0,2 7	0,01	0,00 8	0,1 4	0,05 5	0,00 1	0,04 9	-
AISI 430	0,4	-	0,2	0,01 0	0,18	0,03	16,2 1	0,01 8	0,0	0,02	0,00	0,0	0,12	0,00	0,03 8	-
AISI 316	0,3 6	-	1,2	0,00 7	10,5 5	0,25	16,8 8	0,02 5	2,1 4	0,02 2	0,01 6	0,1 2	0,03	0,00 2	0,04	-

OC-4	0,1 5	3	2	-	20	0,5	14,3	0,04	2	0,1	2,5	-	0,1	-	-	1
T-22	0,3	-	0,4	-	-	-	2,25	0,3	1	-	-	-	0,12	0,3	-	-
T-11	0,7 9	-	0,43 6	-	0,91 7	0,19 8	1,2	0,00	0,5	-	-	0,0	0,1	0,00	-	-
A1	0,1	-	0,93	-	-	-	-	0,03 5	-	-	-	-	0,27	0,03 5	-	-

En las centrales con colectores parabólicos en las que el almacenamiento de la sal alcanza 390°C se usan aceros al carbono, motivo por el cual, se va a evaluar el comportamiento de un acero al carbono (A1) de referencia, similar a los utilizados actualmente, analizándose la influencia de pequeñas adiciones de cromo (1,2% en T11 y 2,25 en T22) en el proceso de corrosión en las sales fundidas, con el objetivo de proponer y mejorar los materiales utilizados en esta tecnología y que posteriormente serán evaluados en el módulo de almacenamiento.

Por otro lado la tecnología de torre central (alcanza los 550°C) requiere de aceros inoxidables en los tanques de almacenamiento y en las conducciones por las que circula la sal a esa temperatura.

El acero inoxidable cuyo uso está más extendido en este tipo de centrales es el acero austenítico AISI 316, el cual se estudiará como referencia, evaluándose el uso de otros aceros inoxidables austeníticos (AISI 304, OC-4) y ferrítico (AISI 430), como posibles sustitutos de este.

El acero AISI 304 presenta una resistencia adecuada a la fluencia, lo que le convierte en un acero con múltiples usos industriales a elevada temperatura.

La elevada relación Cr-C del acero inoxidable ferrítico (430) refuerza el comportamiento alfágeno¹ del mismo, presentando una matriz ferrítica a

¹ El comportamiento alfageno de un acero se da cuando se somete a un tratamiento al mismo para situarlo en su fase alfa ó ferritica de su equilibrio de composiciones.

temperatura ambiente. Este acero se utiliza en aplicaciones donde se requiere una buena resistencia a la corrosión bajo tensión y especialmente en medios que contienen Cl⁻.

El acero experimental OC-4 pertenece a un grupo de aceros inoxidables austeníticos que forman alúmina, AFA (*Alumina forming austenitic stainless steels*), los cuales presentan mejor resistencia a la corrosión que las convencionales capas de Cr₂O₃, para temperaturas superiores a los 600°C.

El acero AlSI 316 es un acero inoxidable aleado con molibdeno. Esta adición le confiere mejores propiedades anticorrosivas (junto con el mayor contenido en níquel) que las de la familia 304, al disminuirse la susceptibilidad a la corrosión por picado ya que la capa pasiva formada es mucho más resistente, a priori es el acero que se utilizará como acero conformacional de la planta de sales fundidas y para las tuberías.

Actualmente este acero se usa en los tubos por los que se bombea la sal en las centrales de torre central, así como en los tanques de almacenamiento de este tipo de centrales, en los que se alcanzan los 550°C. Por este motivo será tomado como referencia para los resultados en el resto de aceros inoxidables, cuya evaluación pretende poder sustituir a dichos aceros en esta tecnología.

El acero al carbono A1 (0,27%C), sin adiciones de cromo y grado ASTM 210, va a ser tomado como referencia en la presente investigación, al ser similar al usado en centrales solares con colectores parabólicos (máxima temperatura de trabajo 390°C).

El acero al carbono SA 213 grado T11, con contenido 1,2%Cr-0,5%Mo, es usado en calderas a presión ya que el contenido en Mo mejora la resistencia de los aceros al carbono. Cuando se añade Mo al acero aumentan: su resistencia, su límite elástico, su duración frente al rozamiento, las cualidades frente a impactos y su templabilidad; además contribuye a la resistencia a altas temperaturas y permite calentar los aceros hasta el rojo intenso, sin pérdida de dureza. Será otro

de los aceros a evaluar en la instalación, al tener cierto contenido en Cr que mejora su comportamiento frente a la corrosión.

Este acero al carbono T22 con contenido 2,25%Cr-1%Mo, es muy utilizado en tubos colectores y en intercambiadores de calor de centrales térmicas, por lo que también será analizado en esta instalación.

Las probetas ensayadas en los ensayos de corrosión gravimétricos, tienen unas dimensiones de 20mm x 10mm x 2mm, en el caso del AISI 304, del AISI 430, T-22, A1 y T11, y 15mm x 6mm x 2mm en el caso del material OC-4 y AISI 316.

Las muestras se prepararon con la ayuda de un disco impregnado con polvo de diamante, para desbastar posteriormente, con papel de carburo de silicio (SiC) hasta la granulometría P1000 (tamaño de partícula de SiC: 18.3µm), de tal forma que la superficie de la muestra quede homogénea, eliminando el posible óxido que pudieran tener y las pequeñas imperfecciones donde se podría localizar la corrosión.

A continuación se midieron en todas sus dimensiones (con un calibre electrónico) y se pesaron en una balanza analítica, la cual posee una sensibilidad de 0,00001g (10µg). Las muestras se introdujeron junto con la mezcla salina de estudio en crisoles de alúmina, los cuales se introdujeron en un horno de resistencia (Hobersal XB2) a 390°C o 550°C, dependiendo de la sal estudiada. Para el ensayo de inmersión isotermo se realizaron medidas gravimétricas a 24, 48, 150, 350, 500, 675, 850, 1000 horas de ensayo.

Los aceros testados en la sal binaria solar a 390°C son aceros al carbono y de bajo contenido en cromo (con composiciones mostradas en la tabla 5), los cuales han estado inmersos en la sal fundida durante 1000 horas. El resultado de los ensayos termogravimétricos se muestran en la gráfica de la figura 27.

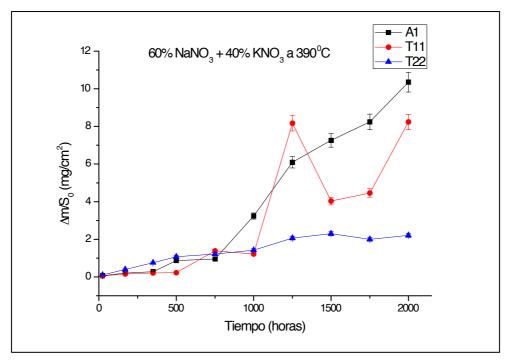


Figura 27: Ganancia de masa gravimétrica en aceros inmersos en sal binaria a 390°C.

Tanto el acero al carbono A1, como el acero con bajo contenido en cromo T11 presentan un mal comportamiento frente a la corrosión, a la vista de las ganancias de masa observadas en la figura 63, de 10 y 8 mg/cm², respectivamente. Por otro lado la ganancia de masa experimentada en el acero T22 (1,8 mg/cm²) indica un mejor comportamiento frente a la corrosión para este acero, frente al acero A1 y T11.

A continuación se va a realizar un estudio individual de cada acero, a fin de elucidar los procesos de corrosión que ocurren en ellos y que justifiquen las ganancias de masa experimentadas.

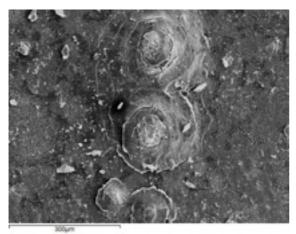
3.1 Resultados del Acero al carbono A1

Para explicar el comportamiento del acero A1 en el medio corrosivo 60%NaNO₃ + 40%KNO₃ durante 1000 horas, se ha realizado un estudio microestructural mediante microscopia electrónica de barrido (SEM), tanto de la superficie de la probeta como del corte transversal realizado en la misma.

La figura 28 muestra el aspecto superficial de la muestra tras 1000 horas de exposición.

Análisis	0	Mn	Fe
2A	19.43	0.56	80.01
2B		0.88	99.12

Análisis	0	Si	Mn	Fe
2A	18.41	0.34	0.63	80.63
2B		0.31	0.75	98.93



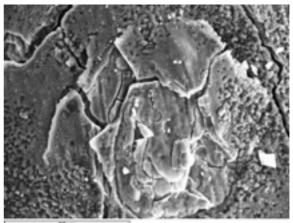


Figura 28: Estudio superficial del acero A1 en contacto con la sal binaria a 390°C.

El aspecto superficial del acero presenta un crecimiento preferencial en zonas puntuales del material (debido posiblemente a heterogeneidades del mismo), delaminándose las capas de oxido a causa de las tensiones de crecimiento de los óxidos junto a sus diferentes coeficientes de expansión térmica.

El estudio transversal de la muestra, se observa en las imágenes a) y b) de la figura 29.

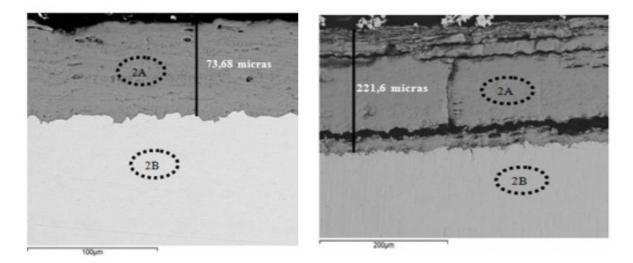


Figura 29: a) Análisis transversal probeta A1 tras 500 horas de ensayo en mezcla binaria b) 1500 horas de ensayo.

Los análisis EDX realizados son semicuantitativos, obteniéndose una capa de óxido de hierro. En este caso no se ha detectado contenido en magnesio en este análisis, pese a detectarse en el difractograma de rayos X de la figura 30, ya que los análisis 2A se realizan en una zona central de la capa, y el magnesio se detecta en la zona más superior, al ser una impureza que proviene de la sal

Una vez analizado el proceso de corrosión del material A1 en la sal binaria estudiada en este apartado, se pasó a analizar los productos de corrosión formados en la superficie de la probeta, los cuales se analizan mediante la técnica de difracción de rayos X, obteniéndose los resultados que se muestran en la figura 30.

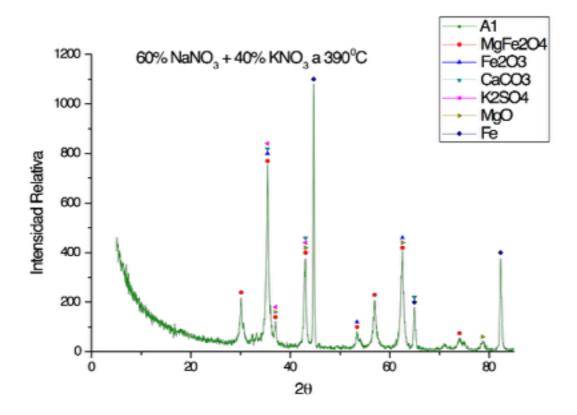


Figura 30: DRX en acero A1 tras 1000 horas de inmersión en mezcla binaria solar.

Los resultados de la figura 30 muestran a la hematita (Fe₂O₃) como principal producto de corrosión, así como MgO, el cual se genera por reacción del Mg(NO₃)₂ y el oxígeno del medio.

3.2 Acero T11

El estudio gravimétrico mostrado en la figura 27 muestra una ganancia de masa con subidas y bajadas debidas a las pérdidas de material a lo largo del ensayo por disolución de especies en la sal, alcanzándose una ganancia de masa final en torno a 8 mg/cm². El aspecto superficial de la muestra T11 en contacto con la mezcla binaria 60%NaNO₃+ 40%KNO₃ durante 1000 horas, aparece reflejado en la figura 31.

Análisis 2A 2B	0	Na	Si	K	Ca	Mn	Fe
2A	3.59	2.14	0.43	3.96	0.66	0.67	88.55
2B	19.57		0.25	0.27		0.61	79.29
2C	ı		0.41				98.93

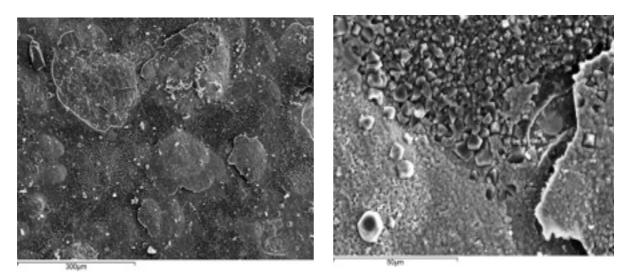


Figura 31: Estudio superficial probeta T11a) inmerso en sal binaria durante 1000 horas a 390°C y b) ampliación.

El estudio transversal, al término del ensayo, de dicha muestra se observa en la figura 32.

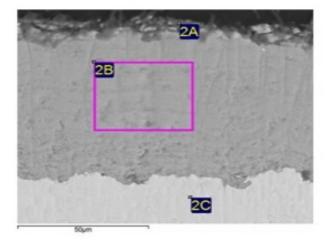


Figura 32: Análisis transversal probeta T11 tras 1000 horas de exposición en mezcla binaria a 390°C.

El espesor de la capa se ve reducido con respecto al acero al carbono A1, observándose una capa compacta con contenido de oxígeno y hierro (análisis 2B), principalmente. En la parte superior de la probeta se detecta contenido en sodio y potasio (análisis 2A), el cual no ha sido detectado anteriormente por lo que en este caso puede ser debido a algún resto de la sal, el cual no se ha eliminado de forma adecuada.

Una vez caracterizada y analizada la probeta del acero T11, mediante SEM-EDX, se elucidaron los productos de corrosión formados mediante difracción de rayos X. Los resultados se muestran en la figura 33.

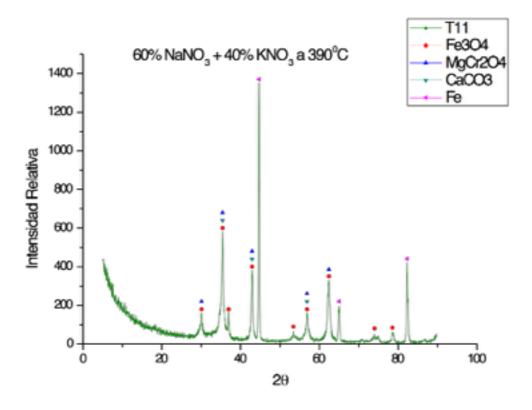


Figura 33: DRX realizado en acero T11 al término del ensayo a 390°C en la sal binaria.

El principal producto de corrosión obtenido es magnetita (Fe₃O₄), detectándose carbonato de calcio, como producto insoluble en la sal, el cual es el responsable del calcio obtenido en el análisis EDX que se observa en la parte superior de la imagen transversal.

El análisis de rayos X también detecta la espinela protectora MgCr₂O₄, la cual dota al material T11 de un mejor comportamiento frente a la corrosión que el presentado por el acero al carbono A1, pese a tener únicamente un 1,15% de cromo.

Los productos detectados en la sal residual en la cual estuvo inmerso el acero T11 son los mostrados en el difractograma de la figura 34.

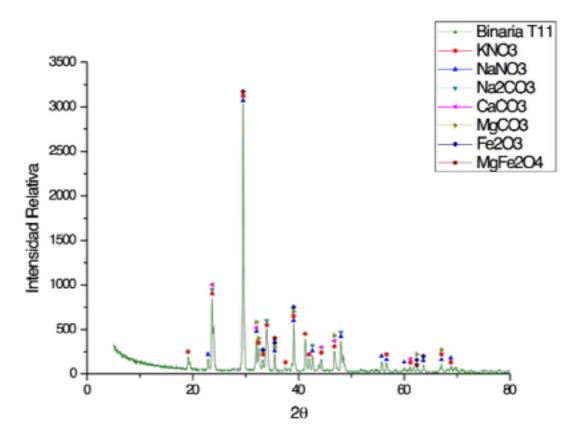


Figura 34: DRX realizado en sal en contacto con acero T11 al término del ensayo a 390°C en la sal binaria.

Los resultados de la figura 34 muestran la presencia de carbonatos de sodio, calcio y magnesio como productos insolubles en la sal. Junto con estos compuestos se obtienen productos de corrosión del material desprendidos en la sal, como son hematita y magnesioferrita.

3.3 Acero T22

El acero T22 muestra el mejor comportamiento frente a la corrosión a la vista de la curva gravimétrica, obteniéndose una ganancia de masa en torno a 2,2 mg/cm².

El aspecto superficial de la muestra T22 tras 1000 horas de exposición en la mezcla binaria, aparece reflejado en la figura 35, y en él se observa el crecimiento de una capa generalizada de óxidos, la cual presenta cierta porosidad, pudiendo acceder a través de ella la sal, atacando el material base.

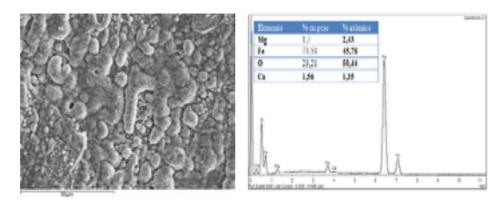


Figura 35: Aspecto superficial acero T22 inmerso durante 2000 horas en mezcla binaria con análisis EDX.

El análisis EDX realizado, en la superficie de la probeta, detecta la presencia de oxígeno y hierro, principalmente, junto con pequeñas cantidades de calcio y magnesio procedentes de la sal. El estudio transversal de la muestra tras 1000 horas de inmersión isoterma se observa en la figura 36.

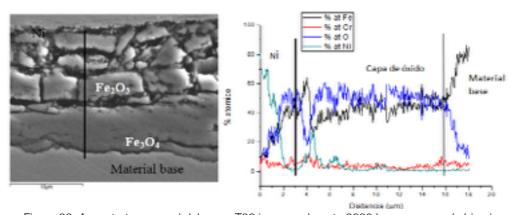


Figura 36: Aspecto transversal del acero T22 inmerso durante 2000 horas en mezcla binaria con análisis EDX en línea.

Una vez analizados el aspecto superficial y el corte transversal de la probeta T22, se estudian los productos de corrosión obtenidos mediante difracción de rayos X (figura 37).

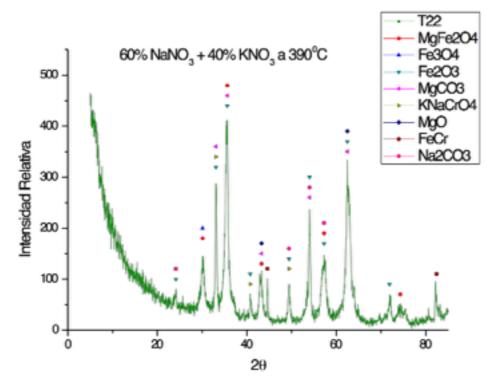


Figura 37: DRX realizado en acero T22 en contacto con sal binaria a 390ºc al término del ensayo.

El difractogama detecta la presencia de un óxido mixto de cromo (K,Na CrO₄) el cual confiere al material cierto carácter protector, y tal y como se intuía en el análisis en línea (figura 36) éste se encuentra en la parte más próxima al material base.

Junto a este compuesto se han detectado especies de carbonatos insolubles en la sal y que se adhieren a la parte más superficial de la capa de oxidación, así como los principales productos de corrosión, magnetita Fe₃O₄, hematita (Fe₂O₃), la cual reacciona con MgO (también detectado) para dar magnesioferrita, MgFe₂O₄.

El resto de sales evaluadas en este proyecto en los diferentes aceros, han sido convenientemente reportados y justificados en los informes técnicos mensuales entregados en el gobierno regional de

Atacama. Los resultados han sido analizados de forma análoga a la sal binaria solar anteriormente justificada.

La tabla 6 presenta un resumen de los productos de corrosión e insolubles, detectados mediante rayos X, tanto en el acero como en la sal al término del ensayo. También se establece la velocidad de corrosión obtenida metalográficamente extrapolándose en las 2000 horas de ensayo realizado.

Tabla 6: Resumen de los productos de corrosión obtenidos en los ensayos isotermos realizados en las diferentes sales.

Mezclas		Productos de	Corrosión	Produ	ctos Insolubles	Velocidad de
Salinas	Acero	Muestra	Sal Muestr		Sal	corrosión (micras/hora)
	A1 MgFe Fe ₂		Na		CaCO	0,1108
Binaria	T11	Fe MgCr	MgFe Fe	CaCO	CaCO MgCO	0,029
	T22	MgFe Fe₃ (K,Na)CrO MgO	Fe Na MgFe	Na MgCO	CaCO	0,0081
	A1	Fe₃ NaFeO	KFeO NaFeO Na	CaCO MgCO	CaSO (Ca,Mg)CO CaCO	0,00075
Ternaria Calcio	T11	Fe ₃ (Ca,Mg)Fe	Na Na	CaCO MgCO	CaSO Na (Ca,Mg)CO	0,00057
	T22	MgCr Fe	∣ Na		CaSO (Ca,Mg)CO	0,00044
	A1	MgFe K₂	MgFe Li ₂ LiFeO	-	CaCO MgCO	0,0359

Ternaria Litio	T11	MgFe LiFe K₂	NaFeO Ca KFeO Na Fe Fe	-	MgSO	0,0196
	T22	FeCr MgFe K ₂	Fe FeCr Na	-	Na ₂ MgCO	0,00348
	A1	MgFe Fe	LiFeO MgFe	CaCO CaSO	MgSO	0,0031
Ternaria Litio/	T11	LiFeO MgO	FeCr	CaCO	CaSO	0,00087
Calcio	T22	LiFe FeCr	MgCr Fe FeSO	K ₂ CaCO	MgSO	0,0031
	A1	Ca Fe ₃	K ₂	CaCO	Na ₂	0,00148
Cuaternaria	T11	Fe ₃	KFeO LiFeO	CaCO	Na ₂	0,00058
	T22	MgO, Fe MgCr	MgCr	CaCO	Na ₂ Na	0,00081

El estudio de corrosión a 550°C, simulando las condiciones de trabajo de las centrales solares con receptor central, se ha llevado a cabo en aceros inoxidables ferríticos y austeníticos, aunque solo se ha podido realizar durante 2000 horas en la sal binaria, ya que el ensayo realizado para la sal cuaternaria solo ha podido extenderse durante 1000 horas, al haberse evaporado la misma.

La curva gravimétrica obtenida en el comportamiento de estas dos sales se observa en la figura 38.

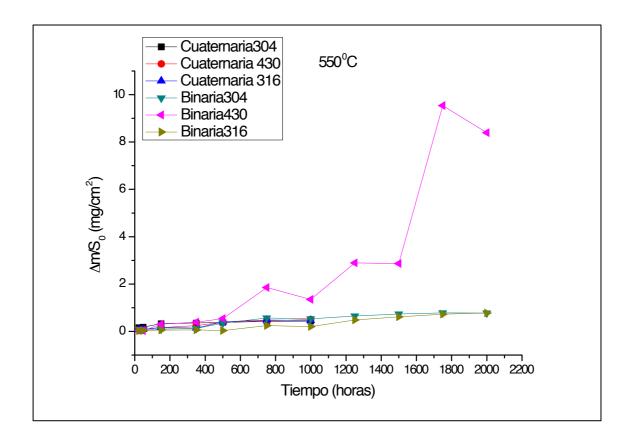


Figura 38: Resultados gravimétricos obtenidos en sal binaria y cuaternaria para los aceros 304, 430 y 316 a 550°C.

Como se explica en el apartado de discusión de resultados, el acero AISI 430 presenta una elevada ganancia de masa, mientras que el resto de los aceros presenta muy buen comportamiento frente a la corrosión en los medios ensayados.

La figura 39 excluye al acero ferrítico AISI 430, representando la ganancia de masa de los aceros inoxidables austeníticos ensayados en ambos medios.

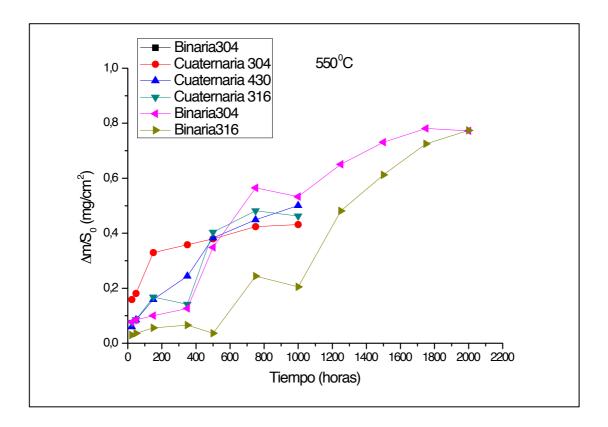


Figura 39: Ampliación de aceros con buen comportamiento a 550°C.

Pese a que el ensayo isotermo en la mezcla cuaternaria no se ha extendido por encima de las 1000 horas, se observa una tendencia similar al comportamiento mostrado por estos aceros en la sal binaria solar, destacándose una mejora considerable del acero ferrítico AISI 430, al menos en las 1000 primeras horas de exposición.

Al haberse evaporado toda la sal cuaternaria en las primeras 1000 horas de exposición no se ha podido realizar un análisis químico a la sal tras el proceso de corrosión, a fin de entender un poco mejor los procesos corrosivos que ocurren en la misma.

La tabla 7 presenta un resumen de los productos de corrosión e insolubles, detectados mediante rayos X, tanto en el acero como en la sal al término del ensayo a 550°C.

También se establece la velocidad de corrosión obtenida metalográficamente extrapolándose el cálculo a 1000 y 2000 horas de ensayo realizado, en función de la sal.

Tabla 7: Resumen de los productos de corrosión obtenidos en los ensayos isotermos a 550°C.

Mezclas		Productos de	Corrosión	Produ	ctos Insolubles	Velocidad de
Salinas	Acero	Acero Muestra Sal Muestra		Sal	corrosión (micras/hora)	
	304	MgFe FeCr	MgFe Fe	Na	CaCO	0,0057
	430	Fe MgFe FeCr	Fe	-	CaCO MgCO	0,1321
Binaria	316	MgCr Fe₃ Na	Fe - Na ₂			0,00266
	OC-4	FeCr MgFe MgCr Al ₂	-	-	Na ₂ CaCO	0,00154
	T22	MgFe Fe ₂	KFeO FeSO Fe	-	CaCO MgCO	-
	304	K₃ Fe₂ Fe	- CaCO		-	0,0073
Cuaternaria	430	Fe₃ Fe Ca	-	MgCO	-	0,00619
	316	MgFe Fe (K,Na)CrO Na	-	CaCO MgCO	-	0,0045

El acero T22 a 550°C sufre una corrosión catastrófica en contacto con la sal binaria durante las 800 horas de ensayo que se pudo realizar, al quedar el acero en muy mal estado, no pudiéndose realizar un estudio metalográfico, superficial, ni transversal en el SEM, por lo tanto no se ha calculado la velocidad de corrosión para este acero.

En la siguiente tabla se muestran todos los aceros ensayados en este proyecto y los medios de corrosión diseñados, indicándose en verde los aceros cuyo comportamiento ha sido validado para su uso en centrales solares de torre (550°C) ó de colectores parabólicos (390°C), y en rojo aquellos que presentan un comportamiento peor contra la corrosión y cuyo uso en la central ha sido desestimado.

Tabla 8: Esquema de los aceros validados para su uso en centrales solares, en función del fluido térmico usado.

Acero	Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Binaria		Ternaria Ca	Ternaria Li	Ternaria Li/Ca	Cuaternaria	
	390°C	550°C	390°C	390°C	390°C	390°C	550°C																				
A1		-					-																				
T11		-					-																				
T22							-																				
304	-		-	-	-	-																					
430	_		-	-	-	_																					
316	-		-	-	-	_																					
OC4	_		-	-	-	-																					

En general se observa el buen comportamiento de los aceros frente a la corrosión causada por estos medios salinos diseñados en proyecto encontrándose más restricciones en la sal binaria solar actualmente usada, desestimándose el uso de los aceros A1 y T11 a 390°C y de T22 y AISI 430 a

550°C. Como resultado de este proceso el módulo se construye en un acero 316L, un acero con gran resistencia a la corrosión a alta temperatura en sales fundidas.

La única restricción encontrada en las nuevas sales diseñadas la establece el uso del acero A1 a 390°C en las centrales solares con colectores parabólicos que usen la sal ternaria de litio (20% LiNO₃ + 52%KNO₃ + 28%NaNO₃).

La caracterización térmica de las sales de almacenamiento diseñadas ha sido una etapa de vital importancia, siendo sus resultados publicados en revistas especializadas y con gran acogida como se informa en el apartado de difusión.

4. Instalación y puesta en marcha del módulo de almacenamiento.

4.1 Diseño de módulo de almacenamiento solar

El diseño final del modulo de almacenamiento se refleja en la siguiente figura:

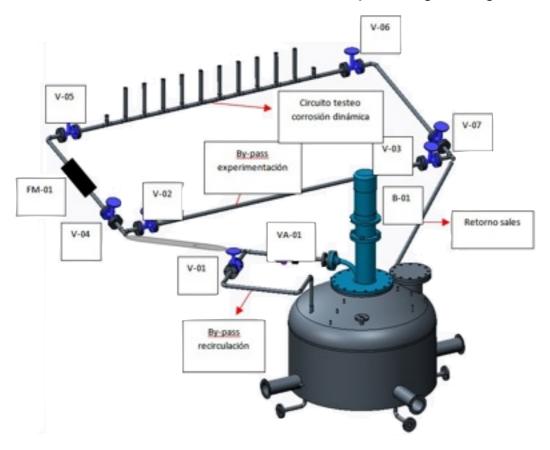


Figura. 40: Diseño modulo de almacenamiento solar.

Los elementos del mismo son un estanque de sales fundidas, una bomba de recirculación que es la encargada de propulsar las sales por el circuito de tuberías donde se llevan a cabo las pruebas de fluidez y estabilidad de las sales. Cuenta con un by pass de recirculación con el objetivo de homogeneizar las sales en el estanque previo a su circulación. A continuación se muestran imágenes reales del módulo de almacenamiento fabricado e instalado en la Universidad de Antofagasta.

El resultado final del módulo de almacenamiento solar construido con la información generada a lo largo del proyecto FIC, se muestra en las siguientes figuras.





Figura 41: Proceso de construcción del módulo de almacenamiento.

Tal y como se refleja en los planos de construcción se han diseñado 4 tubos de salida de las sales y las resistencias se integran en el módulo a la distancia optimizada para fundir las sales.





Figura 42: Detalle de tubos de salida de la sal y posición de las resistencias.





Figura 43: Modulo de almacenamiento solar.

Es importante destacar la necesidad de instalar estos sistemas sobre determinadas capas de aislación. Los materiales seleccionados para este efecto han sido:

- Foam glass, en la parte inferior
- Hormigon refractario, en contacto con tanque de sales

Ambos son necesarios para evitar las perdidas de calor por la base del material.

Este sistema se muestra en la siguiente figura:



Figura 44: Detalle del sistema de aislación en la base del tanque de almacenamiento solar.



Figura 45: Detalle de la bomba y sistema de recirculación parte superior del tanque de almacenamiento solar.



Figura 46: Detalle general del tanque de almacenamiento solar.

5. Ejecución de las etapas

Todas las etapas han sido debidamente cumplidas y reportadas en este informe final de proyecto y en cada uno de los informes presentados a lo largo de los meses de ejecución. Como se ha mencionado ,la optimización de las sales fundidas reporto los mejores resultados para las mezclas con contenido en nitrato de calcio y de litio. Todas las mezclas diseñadas fueron sometidas a estudios de fluidez a baja y alta temperatura, a través de ensayos reologicos de viscosidad. Adicionalmente se realizaron ensayos de corrosión en diferentes aceros y diferentes temperaturas de almacenamiento.

En base a todos estos resultados obtenidos, se definió el sistema necesario para construir el modulo de almacenamiento solar. Inicialmente esta etapa fue incluida al principio del proyecto pero su construcción tuvo que ser retrasada ya que se era fundamental conocer los resultados previos en las sales para diseñar el sistema de forma adecuada.

Las imágenes del modulo de almacenamiento, junto a las acciones de divulgación incluidas en el proyecto, han sido correspondientemente reportadas durante el proyecto.

El cronograma propuesto en la postulación del proyecto fue el siguiente:

Nombre de la Costos Actividad asociados programada por Actividad			Meses													
	Activided	1	20	30	40	5°	60	70	80	80	10°	110	12°	13°	140	15°
Optimización de mezclas salinas a ensayar	3.500.000	×	×	×	×											
Instalación y puesta en marcha de planta piloto	80.000.00	×	x	×	×	x	x									
Operación: Pruebas de fluidez a elevada temperatura	9.500.000							x	x	×	x	x	x			
Operación: Pruebas de fluidez a baja temperatura	9.500.000								x	×	x	×	×	×		
Análisis resultados corrosión	2.000.000													x	×	×
Difusión de resultados generados (publicaciones, workshop, congresos)	7.500.000													×	×	×

Tabla 10. Desglose de etapas.

6. Resultados

Como principales conclusiones del proyecto FIC desarrollado se pueden destacar:

• Se han obtenido mejores fluidos de almacenamiento a destacar:

- 48% Ca(NO₃)₂ + 7%NaNO₃ + 45%KNO₃
- 10%LiNO₃ + 10%Ca(NO₃)₂ + 20%NaNO₃ +60%KNO₃

Las sales fundidas diseñadas que presentaron unas mejores propiedades para su almacenamiento fueron las indicadas. Por un lado la sal ternaria con nitrato de calcio presento muy buenas propiedades respecto al punto de fusión obtenido, además de presentar un coste menor a los fluidos actualmente usados en esta tecnología. La otra mezcla destacada, sal cuaternaria, presento un valor destacado en cuanto a su capacidad calorífica, lo cual le otorga una mejor densidad energética de almacenamiento, pudiendo almacenar mayor energía en un menor volumen.

• Mejor acero en contacto con nuevos fluidos de almacenamiento:

- 316

Las pruebas de corrosión realizadas en los diferentes aceros y sales fundidas, concluyen que el acero que presenta mejores propiedades respecto al desgaste fue el denominado AISI 316. Este material fue el seleccionado para fabricar el estanque de almacenamiento solar.

• Aplicaciones Industriales de los resultados:

- Plantas termosolares mas baratas y rentables
- Tanques de almacenamiento mas pequeños

Como se ha comentado, la densidad energética de almacenamiento que presentan estas nuevas sales fundidas les otorga un gran potencial como fluido de almacenamiento térmico, pudiendo realizarse nuevos contenedores de energía con un menor tamaña. Este cambio supondría una disminución en los costes tanto energéticos como de materiales asociados a las plantas termosolares.

Creación de nueva cadena de valor del Litio a través de creación de PYMES e industrias que produzcan LiNO3

Es de destacar la caracterización del nitrato de litio como fluido de almacenamiento térmico. Este uso podría crear una nueva cadena de valor de este producto generando PYMES y empresas que puedan comercializarlo con esta aplicación ya que actualmente no se produce este producto sino que solo se aísla y comercializa el carbonato y cloruro de litio.

• Creación de una batería térmica de sales fundidas

- Integración plantas FV
- Aprovechamiento calor industrial

El sistema diseñado es una batería térmica que puede suministrar energía. El efecto se potencia a través de las sales fundidas que almacenan el calor. Esta fusión de las sales no puede realizarse únicamente por la radiación solar sino que pueden realizarse nuevas alternativas. Un ejemplo es el estudio de la integración híbrida solar, es decir, las resistencias podrían fundir las sales alimentándose de paneles fotovoltaicos, pudiendo servirse de estas baterías térmicas para almacenar el calor y que pudieran empezar su funcionamiento durante la noche.

El aprovechamiento de calor industrial es otra alternativa. Se han detectado procesos en los que el calor industrial liberado es bastante alto y con el diseño adecuado, este podría utilizarse para fundir las sales y almacenar el calor, bien para generar energía o para reutilizarse en los propios procesos de la industria.

Necesidad de realizar análisis de conversión eléctrica y generación de energía una vez que esta optimizado el almacenamiento

Como conclusión final destacar la optimización de módulos de almacenamiento solar, a través de sales fundidas de bajo punto de fusión y mejores propiedades fisicoquímicas. Sin embargo, una vez optimizada esta etapa, el proyecto debería seguir ampliándose para realizar el proceso completo y que pudieran ser conectadas pequeñas turbinas que generen electricidad. De concretarse esta etapa se podría patentar el sistema y generar un producto de gran valor para el Gobierno Regional de Atacama.

6. Resultados de difusión y transferencia tecnológica

A lo largo del proyecto se han llevado a cabo una serie de acciones encaminadas a difundir los resultados, así como participar a la comunidad de los resultados del mismos. Las actividades de difusión se han dividido en:

- Comunicaciones, artículos científicos y participación en congresos
- Actividades de lanzamiento y cierre
- Generación de contenidos de de difusión
- Generación de contenidos
- Actividades de transferencia tecnológica

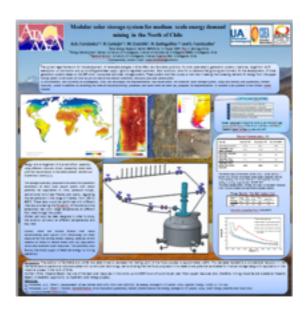
Comunicaciones, artículos científicos y participación en congresos

Como materiales de divulgación en congresos internacionales, se han presentado tres comunicaciones de los resultados obtenidos en la conferencia internacional Solarpaces, realizada este mes en Beijing China.

La presentación internacional de estos tres trabajos fue un éxito, dando a conocer la importancia del trabajo que se esta realizando y el interés que suscitan los resultados que se están obteniendo en la Universidad de Antofagasta y que están financiados por el GORE de Atacama en su convocatoria FIC 2013. Estas comunicaciones cumplen con los indicadores de proyecto en cuanto a divulgación de resultados.

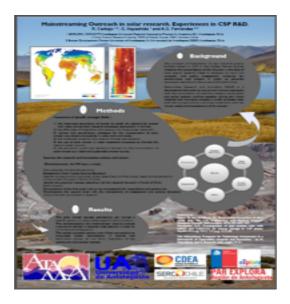
Los trabajos presentados llevan por titulo:

"Modular solar storage system for medium scale energy demand mining in the North of Chile", enviado a Solarpaces Conference. Septiembre 2014, Beijing (China). Comunicación póster. Autores: Á. G. Fernández, R. Carbajo, M. Crutchik, H. Galleguillos, E. Fuentealba.

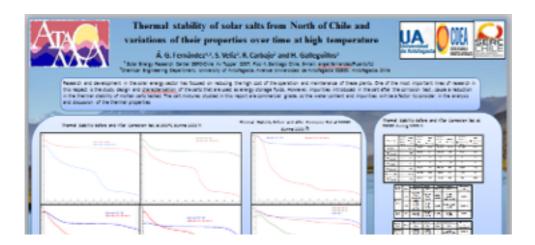


"Mainstreaming Outreach in solar research. Experiences in CSP R&D", enviado a Solarpaces Conference. Septiembre 2014, Beijing (China). Comunicación póster

Autores: R. Carbajo, G. Hayashida, Á. Fernández.



"Thermal stability of solar salts from North of Chile and variations of their properties over time at high temperature", enviado a Solarpaces Conference. Septiembre 2014, Beijing (China). Comunicación póster. Autores: Á. G. Fernández, S. Veliz, R. Carbajo, H. Galleguillos.



También se han presentado comunicaciones en seminarios:

Congreso internacional Eurotherm 2014. Este congreso fue realizado entre los días 28 a 30 de Mayo en la ciudad de Lleida (España) y el investigador responsable participó con la ponencia: Thermophysical characterization of new molten salt formulations for Direct Thermal Energy Storage Systems in Parabolic Trough Plants.



Seminario INNOSTORAGE Lleida España Mayo de 2014

Se presentaron resultados respecto a la estabilidad térmica de las sales diseñadas y respecto a la variación encontrada en propiedades térmicas de las sales tras proceso de corrosión.

Los artículos publicados hasta la fecha son:







Corrosion properties of a ternary nitrate/nitrite molten salt in concentrated solar technology, Publicado en revista Renewable energy

Thermal characterization of an innovative quaternary molten nitrate mixture for energy storage in CSP plants, publicado en revista Solar Energy Materials and Solar cells.

Thermal influence in corrosion properties of Chilean solar nitrates, publicado en revista Solar Energy.

Es de destacar que las comunicaciones fueron aceptadas en congresos de prestigio internacional, lo cual da constancia de los importantes resultados que se han obtenido. Otra prueba de este hecho son las publicaciones que se han aceptado con los resultados obtenidos y en las cuales se deja constancia que han sido realizadas gracias a la financiación del GORE de Atacama.

Las revistas mencionadas son de alto índice de impacto, lo cual otorga una buena capacidad de llegada a la comunidad internacional.

Actividades de lanzamiento y cierre

Dentro de los objetivos del proyecto, se llevaron a cabo las actividades de lanzamiento y cierre en Copiapó a fin de presentar los objetivos del proyecto y sus alcances y exponer los resultados. Se realizo un libro promocional del evento, producción de material promocional y el acto fue publicitado en diferentes medios de prensa y televisión.

Lanzamiento:

http://www.intendenciaatacama.gov.cl/n827_15-07-2014.html



Cierre:

http://www.24horas.cl/regiones/atacama/atacamabuscan-instalar-nuevaplanta-solar----1609844

Generación de contenidos

Se han generado dos publicaciones de difusión que son el libro promocional del proyecto, así como el libro de transferencia tecnológica de proyecto.





Actividades de transferencia tecnológica

Uno de los objetivos específicos del proyecto es la transferencia tecnológica del mismo. Dentro de este objetivo se han marcado como prioritarios los siguientes grupos.

- Gobierno regional y Consejo Regional de Atacama
- PYMES y emprendedores de la región
- Academia: Universidad de Atacama y Universidades de la Macrozona norte como la Universidad de Tarapacá.
- Asociaciones y juntas de vecinos, agrupaciones.
- Comunidad en general

Para lograr los objetivos se llevaron a cabo una serie de acciones a fin de contactar con cada uno de estos grupos objetivos que culminaron con la celebración de un workshop de transferencia tecnológica.

La transferencia tecnológica se ha centrado en tres grandes lineas basadas en las conclusiones obtenidas en el proyecto:

-Generación de tejido industrial y local manufacturing

A lo largo del proyecto se ha detectado que existe una brecha muy interesante de generación de tejido industrial ya sea a través de la producción de nuevos fluidos de almacenamiento basados en nitratos chilenos ó a través del refuerzo de las industrias de fabricación como acerías , empresas de implementación eléctrica.

Es muy importante destacar la generación de capacidades locales y personal cualificado para desempeñarse en la industria local y el apoyo y capacitación de los emprendedores que ya están trabajando en la región en la industria solar.

-Transferencia Universidad de Antofagasta-UdA

A lo largo de todo el proyecto se ha fortalecido la alianza entre las Universidades de Atacama y Antofagasta, a través de formación de sus docentes y estudiantes, y a través de los vínculos entre el Centro de Desarrollo Energético de Antofagasta y la Facultad de Ingeniería para la **firma de un convenio marco** para el desarrollo de actividades conjuntas como un magister UA-UDA.

Esta alianza va a permitir también el establecimiento y fortalecimiento de nuevas lineas de investigación, posibles proyectos de investigación conjuntos, y la en redes nacionales y transregionales de colaboración.

Las personas involucradas en la firma del convenio marco son:

INFORME FINAL PROYECTO FIC ATACAMA Planta Piloto para desarrollar nuevos fluidos de almacenamiento de energía solar UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA

Juan madrigal

DIRECTOR DE PROGRAMA DE TÉCNICO EN ENERGÍA SOLAR DE LA UDA

juan.madrigal@uda.cl

Dr. Karina Carvajal Cuello

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA

karina.carvajal@uda.cl

-Transferencia a empresas del sector fotovoltaico para la integración de

tecnologías.

Se ha contactado con empresas del sector fotovoltaico localizadas en la

Región de Atacama como First Solar y Sun Edison con el fin de valorar la

integración de los módulos de almacenamiento con sistemas fotovoltaicos.

Actividades en la comunidad

Es muy importante destacar que se han llevado actividades de difusión

para toda la comunidad para generar conciencia a cerca de las fuentes de energía

renovables y el consumo. Se llevaron a cabo actividades educativas a cerca de la

energía renovable en colaboración con el PAR EXPLORA Antofagasta.

Las actividades de transferencia tecnológica culminaron con la celebración

el 13 de marzo de 2015 de un workshop de almacenamiento sustentable

junto con una visita técnica a la planta fotovoltica Amanecer solar CAT

situada en Copiapó.

A continuación se recogen algunos de los contactos de las acciones de

transferencia tecnológica llevadas a cabo.

Industria fotovoltaica:

Antonio Galleguillos

68

INFORME FINAL PROYECTO FIC ATACAMA Planta Piloto para desarrollar nuevos fluidos de almacenamiento de energía solar UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA

JEFE PROYECTOS ZONA NORTE

CLEVER

agalleguillos@claver-global.com 9 66476095

Clever es una de las operadoras de la planta fotovoltaica Amanecer Solar CAT.

PYMES y emprendedores locales Comuna de Copiapó:

Diego Castillo

SOLAR COPIAPO 9-71415212

solarcopiapo@hotmil.com dcastillocortes@gmail.com

Solar Copiapó es una pequeña empresa de instalaciones fotovoltaicas. La misma fue asesorada y se espera que forme parte de las iniciativas de acompañamiento a los emprendedores del Centro de Desarrollo Energético de Antofagasta.

Universidad de Atacama:

Juan madrigal

DIRECTOR DE PROGRAMA DE TÉCNICO EN ENERGÍA SOLAR DE LA UDA

juan.madrigal@uda.cl

Dr. Karina Carvajal Cuello

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA

karina.carvajal@uda.cl

Empresa y centros tecnológicos Región de Atacama:

Carlos Martin

IPLACEX Copiapo

cmartin@iplacex.cl 9-68357833

Nector Ubillo Castro

CENTRO DE DIFUSIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE ATACAMA LTDA

CEDESUATACAMA

cedesuatacama@gmail.com 88603359

ESTUDIO ECONOMICO Y DE FACTIBILIDAD

El modulo de almacenamiento construido pretende ser utilizado como batería térmica en diferentes procesos industriales. Para ello se ha realizado un estudio de la factibilidad técnico-económica para implantar estos sistemas de almacenamiento en la minería de la región de Atacama.

El modulo diseñado en el proyecto, puede satisfacer la siguiente capacidad de almacenamiento de calor sensible:

Almacenamiento calor sensible

Q = m Cp Δ T =1000Kg 1500J/Kg 0 C (550-130 0 C)= 630 10 6 J= 175kWh

Suponiendo que la conversión de la batería térmica fabricada se cargue y se descargue una vez al día. Este potencial podría cubrir las necesidades energéticas de los diferentes procesos industriales e incluso podría aplicarse en diferentes zonas aisladas como campus universitarios o condominios.

Otra alternativa sería colocar en paralelo estas baterías y poder almacenar una mayor cantidad de energía. El dato aportado debe seguir investigándose ya que en esta primera etapa de proyecto se han centrado las investigaciones en el diseño del sistema y el fluido de almacenamiento y los valores concretos de conversión eléctrica deben contrastarme en mayor profundidad.

Con los datos aportados anteriormente en la tabla 4, se puede hacer una estimación del coste de almacenamiento térmico (a nivel de plantas comerciales) que aportarían los nuevos fluidos diseñados.

Tales resultados se muestran en la tabla 9:

Tabla 9: Estimación del coste de almacenamiento con sales diseñadas

Sal fundida	Densidad Energética (MJ/m3)	Precio (US\$/ Ton)	Coste 2 tanques / energia almacenada (US\$/ kWhthermal)
60wt% NaNO % KNO	550	893	11.67
48wt% Ca(NO % NaNO KNO	539	780	10.04
20wt% LiNO KNO	513	1161	16.35
30wt% LiNO Ca(NO KNO	607	1274	15.07
10wt% LiNO Ca(NO KNO	680	1038	10.98

Como se puede comprobar en los resultados reportados, el coste de almacenamiento de estas nuevas sales fundidas diseñadas es menor al que tiene la sal binaria solar actualmente utilizada.

Por lo tanto, esta sustitución conllevaría una disminución de los costes de almacenamiento en plantas comerciales de concentración solar.

Estudio económico del montaje del sistema de almacenamiento

A lo largo del proyecto, se han ido definiendo los coste de construcción y componentes del estanque de almacenamiento solar. El desglose de componentes y costes es el siguiente:

Tanque almacenamiento: 10.000.000 CLP

Aislamiento térmico: 9.500.000 CLP

Traceado eléctrico: 20.000.000 CLP

Resistencias eléctricas: 2.000.000 CLP

Sensores de Temperatura: 1.500.000 CLP

Software de control: 3.000.000 CLP

Bomba de sales fundidas: 17.000.000 CLP

Válvulas: 11.000.000 CLP

Por lo tanto el coste de replicar el modulo de almacenamiento diseñado tendría un coste de 75.000.000 CLP.Debido al interés suscitado en el proyecto, a lo largo del desarrollo del mismo se han recibido aportes desinteresados de aproximadamente de 22.000.000 CLP.

En la siguiente figura se desglosa los proveedores y su procedencia, pudiendo destacar que el 40% de las compras se han llevado a cabo con proveedores nacionales.

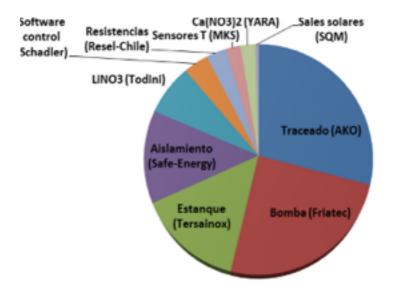


Figura 47: Distribución y procedencia de los distribuidores. EJECUCIÓN DE LAS ETAPAS

DESGLOSE PRESUPUESTARIO Y RENDICIÓN ECONÓMICA

El presupuesto inicial del proyecto fue de 127.000.000 CLP distribuidos en en gastos de inversión, operación, honorarios y difusión según el siguiente gráfico que corresponde al presupuesto original.

	PRESUPUESTO APROBADO
GASTOS DE INVERSIÓN	45.000.000
TANQUE ALMACENAMIENTO BOMBAS SALES	20.000.000
FUNDIDAS IMPLEM. Y ADEC.	20.000.000
ESPACIO	5.000.000
GASTOS DE OPERACIÓN	31.000.000
PASAJES	6.000.000
VIATICOS	3.000.000
FUNGIBLES	10.000.000
SERVICIOS DE ANALISIS	2.000.000
SENSORES Y SOFTWARE	7.000.000
Gastos de Envio y Mat. Oficina	3.000.000
HONORARIOS	43.500.000
ASESORIA TECNICA ASISTENTE	27.000.000
TECNICO INVESTIGADOR	12.000.000
PRINCIPAL	3.000.000
ASISTENTE ADMINISTRATIVO	1.500.000
DIFUSIÓN	7.500.000
ASISTENCIA CONGRESOS	4.000.000
WORKSHOP	3.500.000
11011101101	0.000.000
GASTO TOTAL PROYECTO	127.000.000

Tabla 11. Desglose del presupuesto presentado.

Sin embargo durante la ejecución del proyecto algunos de presupuestos de estos ítems variaron, por aumentos de costes no previstos y debido al hecho de que alguno de los ítems, fueron adquiridos con fondos de otros proyectos. El aumento de presupuesto dio lugar a una solicitud de reitemización final sobre la que se explican los desgloses.

Tras la solicitud de reitemización el presupuesto final fue el siguiente:

	PRESUPUESTO	MODIFICA		PPTO. (REITEMIZADO)
	APROBADO	AUMENTA DISMUNIYE	DISMINUYE	
GASTOS DE INVERSIÓN	45.000.000		30.000.000	15.000.000
TANQUE ALMACENAMIENTO	20.000.000		10.000.000	10.000.000
BOMBAS SALES FUNDIDAS	20.000.000		20.000.000	0
IMPLEM. Y ADEC. ESPACIO	5.000.000			5.000.000
GASTOS DE OPERACIÓN	31.000.000	31.150.000		62.150.000
PASAJES	6.000.000			6.000.000
VIATICOS	3.000.000	131.250		3.131.250
FUNGIBLES	10.000.000	13.150.000		23.150.000
SERVICIOS DE ANALISIS	2.000.000			2.000.000
SENSORES Y SOFTWARE	7.000.000	18.000.000		25.000.000
MAT OFICINA Y GASTOS ENVIO	3.000.000		131.250	2.868.750
HONORARIOS	43,500,000			43.500.000
ASESORIA TECNICA	27.000.000			27.000.000
ASISTENTE TECNICO	12.000.000			12.000.000
INVESTIGADOR PRINCIPAL	3.000.000			3.000.000
ASISTENTE ADMINISTRATIVO	1.500.000			1.500.000
DIFUSIÓN	7,500,000		1.150.000	6,350,000
ASISTENCIA CONGRESOS	4.000.000		1.150.000	2.850.000
WORKSHOP	3.500.000			3.500.000
GASTO TOTAL PROYECTO	127.000.000			127.000.000

Tabla 12. Desglose del presupuesto definitivo una vez solicitada la reitemización.

DESGLOSE DE GASTOS SEGÚN RENDICIONES MENSUALES E ITEMS:

A continuación se desglosan los gastos dentro del presupuesto reitemizado y aprobado.

GASTOS DE INVERSIÓN:

Sobre este ítem se llevaron a cabo los gastos de :

TANQUE ALMACENAMIENTO
BOMBAS SALES FUNDIDAS
IMPLEM. Y ADEC. ESPACIO

Como se ha mencionado, la bomba fue adquirida por otro proyecto.

Desglose:

- -El Tanque de almacenamiento fue construido por la empresa Tersainox, por un monto total de 10.000.000CLP con el documento factura nº 3056.
- -En cuanto a la adecuación e implementación de espacio se contrataron los servicios de dos empresas:
- PISIS LTDA, quien realizo la adecuación del espacio donde se albergó el módulo de sales fundidas, por un monto total de 3.486.700CLP, factura nº 00493.
- También fueron requeridos en este ítem los servicios electromecánicos de Sr. Rodrigo Eliú para implementar las conexiones eléctricas del sistema, por un monto de 1.500.000CLP, factura nº 17.

GASTOS inversión:

TOTAL presupuestado: 15.000.000 CLP TOTAL ejecutado: 14.986.700

CLP SALDO 13.300 CLP a favor de GORE Atacama

GASTOS DE OPERACIÓN

PASAJES

VIATICOS

FUNGIBLES

SERVICIOS DE ANALISIS

SENSORES Y SOFTWARE

MAT OFICINA Y GASTOS ENVIO

En cuanto a los gastos de operación, se han realizado las siguientes

compras:

Sobre el ítem de Pasajes:

-Viaje Lleida (España): Reunion con Asesores Externos y visualización Planta

Sales Lleida. Monto total 2 pasajes: 2.243.692CLP según factura

desglosadas para cada pasajero nº 37855 y 378557.

-Viaje a Beijing (China), Congreso Internacional Solarpaces 2014. Monto total

2 pasajes: 3.504.988 CLP según factura desglosadas para cada pasajero nº

394308 y 394311.

-Viaje Santiago- Antof: Reunion proveedores y recogida 1 pasaje:

161.538CLP según factura nº 216467.

Total 5.910.218 CLP

Sobre ítem Viaticos:

-Reunion en Copiapo: 88.674CLP

76

-Viaticos viaje Solarpaces 2014 (China): 3.042.576CLP

Total 3.131.250 CLP

Sobre ítem Fungibles: En este ítem se han comprado:

-Valvulas Sansom: 11.359.776CLP, factura nº 1231.

-Aislamiento térmico Safe Energy: 9.405.503CLP, factura nº 9626.

-Sales Yara: 1.945.563CLP, factura HEC 1000528084.

-Sales LiNO3 Todini: 5.279.400CLP.

Total:27.990.242 CLP

Sobre ítem servicios de Análisis: Se realizaron gastos de análisis por rayos X, por monto total 81.304 CLP, factura nº 3958.

Total 81.304 CLP

Sobre ítem Sensores y software de control:

PLC Schadler: 2.397.168CLP, factura 121200.

Sensores MKS: 1.142.212CLP

Traceado AKO: 21.470.017CLP

Total 25.009.397 CLP

Sobre ítem Material de oficina y gastos envío:

Material de oficina: 182.683CLP, sobre facturas nº 117172 y 116142.

Gastos envío: 52.273 CLP según factura nº 652362.

Europear: 109.569 CLP, factura nº 625563.

Gastos bancarios 74.793 CLP

Total 419.318 CLP

Desglose:

Pasajes Total 5.910.218 CLP

Viáticos Total 3.131.250 CLP

Fungibles Total: 27.990.242 CLP

Servicios de análisis Total 81.304 CLP

Software y sensores Total 25.009.397 CLP

Material de oficina y gastos de envío Total 419.318 CL

TOTAL OPERACIÓN presupuestado: 62.150.000 CLP TOTAL

ejecutado: 62.410.191CLP

SALDO -260.191 CLP

Debido a este saldo negativo originado por el aumento en los costes de envío la compra de material fungible, Sales de litio proveedor TODINI factura nº 14, la misma se carga al proyecto solo en el siguiente importe:

5.279.400CLP-260.191 CLP = 5.019.209 CLP

Así los valores de los gastos de operación se desglosan en :

Pasajes Total 5.910.218 CLP

Viáticos Total 3.131.250 CLP

Fungibles Total: 27.990.242 CLP Fungibles total 27.730.051 CLP

Servicios de análisis Total 81.304 CLP

Software y sensores Total 25.009.397 CLP

Material de oficina y gastos de envío Total 419.318 CL

Así el total de gastos de operación definitivo TOTAL OPERACIÓN

presupuestado: 62.150.000 CLP TOTAL ejecutado: 62.150.000 CLP

SALDO 0 CLP

HONORARIOS

El ítem de honorarios se presupuestó en 43.500.000 CLP de los cuales

27.000.000 CLP corresponden a una Asesoría técnica, 12.000.000 CLP a

un Asistente técnico, 3.000.000 CLP al investigador principal y 3.000.000

CLP a un asistente administrativo.

En vista que la asesoría técnica tuvo un coste menor al

presupuestado, se utilizaron esos recursos para un segundo asistente

técnico para los últimos meses de proyecto. Su labor se ha centrado en la

confección del libro de trasferencia tecnológica.

Los gastos de honorarios ascienden a 43.500.000 repartidos entre asesorías

técnicas, y gastos de personal.

En el ítem de Honorarios:

-Los honorarios se han ejecutado en forma de convenios de honorarios

suscritos entre los trabajadores y la Universidad de Antofagasta, a desglosar

en tres convenios en 2013 desde noviembre a diciembre, meses 1 y 2 del

proyecto, tres convenios en 2014, durante los 12 meses y tres convenios

en 2015 durante el mes de enero.

Los beneficiarios de los convenios en todo caso han sido:

Angel Fernandez

Sussy Veliz

Ruth Carbajo

79

INFORME FINAL PROYECTO FIC ATACAMA Planta Piloto para desarrollar nuevos fluidos de almacenamiento de energía solar UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA

Según se desglosa en el soporte documental.

Asistentes técnico: Ruth Carbajo 12.000.000 + 2.400.000CLP

Sussy Veliz: 5.500.000CLP

Principal: Ángel Fernández: 3.000.000 CLP

Asistente Administrativo: 1.500.000CLP

En el apartado de honorarios también se ha llevado a cabo una asesoría

externa con la Universidad de Lleida.

Asesoría Externa: 19.017.299CLP según facturas FRA-131287 Y

FRA-140347.

Total:43.417.299 CLP

TOTAL presupuestado: 43.500.000 CLP TOTAL ejecutado: 43.417.299

CLP

SALDO +82.701 CLP a favor de GORE Atacama

DIFUSIÓN

El ítem de difusión contiene la asistencia a congresos, los eventos de lanzamiento, cierre y workshop, así como todos los gastos derivados de la

impresión de material promocional y trasferencia tecnológica.

Sobre el ítem de Difusión:

Congresos: Inscripción Solarpaces 2014: 218.579CLP

Evento Lanzamiento 19 de mayo de 2014. Se desglosan gastos de :

-Agencia de Comunicación 590.924CLP

-Alojamiento equipo D. Almagro: 127.611CLP

-Impresión de material promocional Imprenta Ercilla: 496.825 CLP según facturas nº 69261 y 69262.

-Reembolso Bencina de 76.200 según desglose de 30.000+30.000+16.200CLP.

Evento cierre y workshop 13 de marzo y 23 de marzo.

Se desglosan gastos de:

-Agencia de comunicación :4.260.200CLP

-Alojamiento equipo Hotel Diego de Almeida: 230.893 CLP y 115.447 CLP.

-Reembolso Bencina: 75.010 CLP

-Impresión de material Libros de transferencia tecnológica: 154.700 CLP

Total:6.346.389 CLP

TOTAL presupuestado: 6.350.000 CLP TOTAL ejecutado: 6.346.389 CLP

SALDO +3.611 CLP a favor del GORE de Atacama

Con todos los desgloses tenemos un saldo a favor del GORE de Atacama:

Respecto al presupuesto total de 127.000.000 CLP si observamos los saldos:

Saldo inversión +13.300 CLP

Saldo operación 0 CLP

Las derivas se deben a que algunas de las compras han sido importaciones sujetas a la variación del valor de las divisas.

INFORME FINAL PROYECTO FIC ATACAMA Planta Piloto para desarrollar nuevos fluidos de almacenamiento de energía solar UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA

Saldo Honorarios +82.701 CLP

En este caso debido a que una parte de los honorarios se destinó a

contratar los servicios de asesoría técnica de una universidad extranjera

también las derivas se deben a que algunas de las compras han sido

importaciones sujetas a la variación del valor de las divisas.

Saldo difusión +3.611 CLP

Suma de saldos: 99.612 CLP

Presupuesto del proyecto: 127.000.000 Ejecutado 126.900.388 CLP

Saldo 99.612 CLP

En este sentido, se ha ejecutado del 99.92 % del presupuesto con un

saldo sin ejecutar de 0.08 % sobre el total.

ANEXOS

Sobrecostes

Como se ha comentado a lo largo de todo el informe y debido

principalmente a el tiempo transcurrido entre la solicitud de compra y la

ejecución del pago, las compras realizadas por un procedimiento de

importación han sufrido esas derivas debidas al alza en el valor del dólar. Así,

en el caso de los gastos de operación, tanto la compra de material eléctrico

de AKO, así como la compra de sales han visto incrementado su valor.

Esto se ha subsanado en parte por el ítem asociado a los gastos de envío

pero ha resultado que la suma total de gastos ascienda a 62.466.936 CLP.

Consultados los profesionales del GORE, nos indican que sobre una

de las últimas compras de fungibles, dentro del ítem de operación, se

82

cargue únicamente parte de la misma a fin de que el valor ejecutado no supere el valor presupuestado.

• APORTACIONES de otros proyectos y Universidad de Antofagasta:

En cuantos a las aportaciones de otros proyectos y donaciones, destacar la del FONDAP SERC nº 15110019 que adquirió una bomba de sales fundida originariamente presupuestada , la de la Universidad de Antofagasta a través de su Centro de Energía abonando parte de los gastos de envío e internación de productos y el Dr. Angel Fernandez, investigador principal con su proyecto FONDECYT nº 3140014.

El soporte documental de estos aportes se entregó en la ultima de las rendiciones de marzo de 2015.

El desglose de los mismos es:

- -Bomba de sales fundidas, ítem que fue adquirido con fondos del proyecto Fondap SERC-Chile por un valor de 17.061.802 CLP, factura nº 5900.
- -Gastos de envío para la internación de sales de potasio y sodio referentes a la compra YARA Internacional asociadas a la agencia aduanera Pollmann asumidas por el proyecto FONDECYT del Dr. Angel Fernandez , factura nº 528.946 por un valor de 787.393 CLP.
- Gastos de envío para la internación de material eléctrico asociado a la compra AKO Internacional asociadas a la agencia aduanera Pollmann asumidas por la Universidad de Antofagasta, factura nº 530.436 por un valor de 6.813.148 CLP.

Añadir aquí que la Universidad de Antofagasta cubre también el sobre costo en los gastos de operación reportado de -260.191 CLP.

Así la suma asciende a 24.979.980 CLP.











