



**UNIVERSITAT JAUME I
ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Diseño, construcción y puesta a punto de un sistema para la medida de la densidad de almacenamiento térmico de sales inorgánicas.

PROYECTO FINAL DE GRADO

AUTOR:

ALFREDO ANGULO DE LA SOTA

DIRECTOR:

**RAÚL MARTÍNEZ CUENCA
RODRIGO LLOPIS DOMÉNECH**

Castellón de la Plana, Septiembre de 2014

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE MEMORIA.....	13
1. OBJETO	15
1.1 Objetivo:.....	15
1.2 Metodología:	15
2. ALCANCE.....	16
2.1. Clasificación de los sistemas termosolares de concentración	18
2.1.1. Sistema de concentración bidimensional 2D	18
2.1.1.1. Sistemas cilindro parabólicos:.....	18
2.1.1.2. Concentradores lineales tipo Fresnel:.....	18
2.1.2. Sistemas de concentración tridimensional 3D.....	19
2.1.2.1. Sistemas de receptor central:	19
2.1.2.2. Discos parabólicos	19
2.2. Principales líneas de investigación.....	20
2.3. Capacidad calorífica	21
3. ANTECEDENTES	22
3.2. Principales técnicas de Análisis Térmico	23
3.3. Microcalorimetría de flujo.....	23
3.4. Microcalorimetría diferencial de barrido	25
4. REFERENCIAS	27
4.1. Bibliografía	27
4.2. Programas de cálculo	28
5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS:	29
5.1. Abreviaturas	29
5.2. Símbolos griegos	29
5.3. Subíndices:	30
6. REQUISITOS DE DISEÑO.....	31
7. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES:	32
7.1. Tubo interior con corriente de aire.....	32
7.2. Recipiente dentro de un baño caliente.....	33
7.3. Cartucho calefactor	34

Índice General

7.4. Anillo/Manta Calefactora	34
7.5. Varilla interior.....	35
7.6. Tubo interior	35
8. RESULTADOS FINALES	37
8.1. Sistema de adquisición de datos.....	37
8.1.1. Señales adquiridas en los experimentos sin cambio de fase	37
8.1.2. Unidades de adquisición	37
8.2. Ensayos.....	38
8.2.1. Modo de Realización de ensayo.....	38
8.2.2. Ensayos Sal HITEC.....	39
8.2.3. Ensayos Sal Solar	42
8.2.4. Ensayos Sal Quaternary.....	44
8.3. Ajuste del factor corrector de la potencia eléctrica “ β ”	48
8.4. Evaluación del Cp:	48
8.5. Evaluación del calor latente:	55
8.6. Evaluación de los diferentes puntos de medida:	56
8.6.1. Medidas para el calor específico:.....	56
8.7. Comparativa con los resultados de un DSC comercial.....	57
8.8. Cálculo de la conductividad térmica	58
ÍNDICE DE ANEXOS.....	61
ÍNDICE DE CALCULOS	67
9. CÁLCULOS.....	69
9.1. Cálculo del volumen contenido.....	69
9.2. Cálculo de la resistencia del calentador.....	69
9.3. Cálculo aproximado del tiempo de ensayo.....	70
9.4. Cálculo del Cp y pérdidas	70
9.5. Cálculo de calor latente.....	73
9.6. Cálculo de la conductividad térmica	74
9.7. Calculo de errores	74
9.7.1. Error de potencia.....	74
9.7.2. Error de la capacidad calorífica	75
9.7.3. Error del calor latente de fusión	77
9.7.4. Error de la conductividad térmica.....	77

Índice General

9.8. Correlaciones y parámetros:	78
9.8.1. Influencia de la temperatura en las propiedades físicas.....	78
ÍNDICE DE SIMULACIONES	83
10. Simulaciones.....	85
10.1. Introducción a CFD	85
10.1.1. Discretización	85
10.1.2. Setup del problema numérico.....	86
10.1.3. Computar la solución	87
10.2. Simulación de las pérdidas de la cerámica.....	88
10.3. Simulación del comportamiento térmico de la vasija.....	92
10.4. Simulación del comportamiento dinámico de la sal líquida.	97
ÍNDICE DE PLANOS	101
11.1. Plano 1: Base	
11.2. Plano 2: Cuerpo.....	
11.3. Plano 3: Tapa	
11.4. Plano 4: Soporte Tapa	
11.5. Plano 5: Calentador y cerámica interior.....	
11.6. Plano 6: Ensamblaje	
12. ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN Y USO	105
12. Construcción y uso	107
12.1. Fabricación de las piezas	107
12.1.1. Vasija	107
12.1.2. Base	109
12.1.3. Tapa.....	110
12.1.4. Soporte tapa.....	110
12.1.5. Otros.....	111
12.2. Ensamblaje de las piezas	112
12.3. Conexión de los elementos y preparación previa.....	114
12.4. Llenado.....	115
ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES	119
13. PLIEGO DE CONDICIONES.....	121
13.1. Aparatos de medida	121
13.2. Materiales	121
13.3. Procedimientos de construcción.....	121

Índice General

ÍNDICE DE CATÁLOGOS	125
14. CATÁLOGOS.....	127
14.1. Agilent 34972A.....	127
14.2. Cerámica MACOR.....	132
14.3. Cerámica DURATEC	137
14.4. Tubos Capilares	138
14.5. Otros productos:	139
14.5.1 Masilla refractaria	139
14.5.2. Termopar.....	139
14.5.3. Amperímetro 800-S.....	140
14.6. Sales.....	143
14.7. Calentadores de banda Watlow	145
14.8. Calentadores de cartucho Watlow.....	146
ÍNDICE DE PRESUPUESTO.....	149
15. PRESUPUESTO	151
15.1. Componentes principales.....	151
15.2. Material eléctrico	151
15.3. Componentes de control y medida.....	151
15.4. Personal.....	152
15.5. Otros.....	152
15.6. Comparativa frente a un DSC comercial	152
15.7. Viabilidad económica	153
ÍNDICE DE PROGRAMA DE PROCESADO	157
16. PROGRAMA DE PROCESADO.....	159
16.1. Programa de Matlab de cálculo del Cp	159
16.2. Función cálculo de pendiente	167

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - De izquierda a derecha, un disco parabólico, un concentrador lineal tipo Fresnel, un sistema de receptor central y un colector cilindro parabólico.	16
Ilustración 2 -Esquema general de una central termosolar.	17
Ilustración 3 - Sistema cilindro parabólicos.	18
Ilustración 4 - Concentradores lineales, tipo fresnel	18
Ilustración 5 - Sistema de receptor central	19
Ilustración 6 - Discos parabólicos	19
Ilustración 7 - Tipo de fluido de trabajo en función del tipo de central	20
Ilustración 8 - Gráfica de la mejor del Cp al añadir nanopartículas	20
Ilustración 9 - Calorímetro de Laplace	22
Ilustración 10 - Imagen de termopila	24
Ilustración 11 - Transiciones de fase del nitrato amónico	25
Ilustración 12 - Medida de Calores Específicos.	26
Ilustración 13 - Figura de un DSC	26
Ilustración 14 - Imagen de un módulo de Areva	32
Ilustración 15 - Experimento para medir Cp	33
Ilustración 16 - Imagen de un calentador de cartucho	34
Ilustración 17 - Imagen de un calefactor de banda.	34
Ilustración 18 - Gráfica del calentamiento ciclo 1 sal hitec.	39
Ilustración 19 - Gráfica del enfriamiento ciclo 1 sal hitec.	39
Ilustración 20 - Gráfica del calentamiento ciclo 2 sal HITEC	40
Ilustración 21 - Gráfica del enfriamiento ciclo 2 sal HITEC	40
Ilustración 22 - Gráfica del calentamiento ciclo 3 sal HITEC	41
Ilustración 23 - Gráfica del enfriamiento ciclo 3 sal HITEC	41
Ilustración 24 – Gráfica del calentamiento ciclo 1 Sal Solar	42
Ilustración 25 - Gráfica del Enfriamiento ciclo 1 Sal Solar.	42
Ilustración 26 - Gráfica del calentamiento ciclo 2 Sal Solar	43
Ilustración 27 - Gráfica del enfriamiento ciclo 2 Sal Solar.	43
Ilustración 28 - Gráfica del calentamiento ciclo 1 Sal Quaternary.	44
Ilustración 29 - Gráfica del enfriamiento ciclo 1 Sal Quaternary	44
Ilustración 30 - Gráfica del calentamiento ciclo 2 Sal Quaternary.	45
Ilustración 31 - Gráfica del enfriamiento ciclo 2 Sal Quaternary	45
Ilustración 32 - Gráfica del calentamiento ciclo 3 Sal Quaternary.	46
Ilustración 33 - Gráfica del enfriamiento ciclo 3 Sal Quaternary	46
Ilustración 34 - Gráfica del calentamiento ciclo 4 Sal Quaternary.	47
Ilustración 35 - Gráfica del enfriamiento ciclo 4 Sal Quaternary	47
Ilustración 36 - Cp (T) Sal HITEC Solida.	49
Ilustración 37 - Cp (T) Sal HITEC Liquida.	50
Ilustración 38 - Cp (T) Sal Solar Solida	51
Ilustración 39 - Cp (T) Sal Solar Liquida	52
Ilustración 40 - Cp (T) Sal Quaternary Solida.	53

Índice de ilustraciones

Ilustración 41 - Cp (T) Sal Quaternary Liquida.....	54
Ilustración 42 - Gráfica de Cp de la sal HITEC medida en DSC	57
Ilustración 43 - Gráfica de Cp de la sal Solar medida en DSC.....	57
Ilustración 44 - Gráfica de Cp de la sal Quaternary medida en DSC	58
Ilustración 45 - Imagen de ajuste lineal	72
Ilustración 46 - Gráfica de calentamiento, sal solar	73
Ilustración 47 - Correlación k(T) de la cerámica.....	78
Ilustración 48 - Correlación Cp(T) de la cerámica	79
Ilustración 49 - Correlación de R(T) del Acero inox 304.....	79
Ilustración 50 - Mallado de parte de la vasija con el entorno.....	86
Ilustración 51 - Monitorización de las variables de control	87
Ilustración 52 - Imagen de la cerámica empleada en el ensayo	88
Ilustración 53 - Mallado del bloque de cerámica con el aire	88
Ilustración 54 - Mapa de temperaturas del bloque para t=0s	90
Ilustración 55 - Mapa de temperaturas del bloque para t=43s	90
Ilustración 56 - Comparativa de la simulación y el experimental	91
Ilustración 57 - Mallado de parte del sistema con el entorno	92
Ilustración 58 – Mapa de temperaturas del conjunto para t=0s	94
Ilustración 59 – Mapa de temperaturas del conjunto para t= 6s	94
Ilustración 60 - Mapa de temperaturas del conjunto para t= 594s (Izquierda) Mapa de temperaturas de la sal (derecha)	95
Ilustración 61 – Mapa de temperatura del conjunto para el inicio de la simulación en liquido t=0s.....	95
Ilustración 62 -. Mapa de temperaturas del conjunto para t= 1370s (Izquierda) Mapa de temperaturas de la sal (derecha)	96
Ilustración 63 – Gráfica de la evolución temporal de la temperatura en el centro de la sal(Izquierda solido)(Derecha liquido)	96
Ilustración 64 – Mapa de velocidades verticales de la sal	97
Ilustración 65 - Imagen de la tronzadora cortando la barra	107
Ilustración 66 -Imagen del torno.....	107
Ilustración 67 - Marcando el centro.....	108
Ilustración 68 - Imagen de la vasija	108
Ilustración 69 - Imagen del torno.....	109
Ilustración 70 - Imagen de la base acabada	109
Ilustración 71 - Imagen de la tapa.....	110
Ilustración 72 - Imagen del soporte de la tapa	110
Ilustración 73 - Imagen de la varilla interior	111
Ilustración 74 - Tubo de acero.....	111
Ilustración 75 - Vasija con calentador y varilla interior.....	112
Ilustración 76 - Vasija con tapa y base	112
Ilustración 77 - Vasija, con la base y termopares.....	112
Ilustración 78 - Imagen del ensamblaje	113
Ilustración 79 - Imagen de todo el sistema conectado	114

Índice de ilustraciones

Ilustración 80 -Imagen de la vasija con lana de roca	114
Ilustración 81 - Imagen vasija se empieza a fundir	115
Ilustración 82 - Imagen vasija llena de sal solida	115
Ilustración 83 - Imagen vasija con sal fundida	115
Ilustración 84 - Imagen del Agilent	127
Ilustración 85 - Imagen de los multiplexores	127
Ilustración 86 - Imagen de piezas hechas con macor.....	132
Ilustración 87 - Imagen de la composición del MACOR	132
Ilustración 88 - Imagen de piezas de DURATEC	137
Ilustración 89 - Imagen de la masilla refractaria.....	139
Ilustración 90 -Imagen de un termopar	139
Ilustración 91 - Nitrato potásico (izquierda) nitrito de sodio (Derecha).....	143
Ilustración 92 - Grafico de los Cp en función de la temperatura de las sales	144
Ilustración 93 - Imagen de un calentador de banda	145
Ilustración 94 - Imagen de un calentador de cartucho	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Técnicas de análisis térmico	23
Tabla 3 - Tabla de cálculo de potencias y tiempo	36
Tabla 2 - Tabla de Cálculo de dimensiones	36
Tabla 4 -Señales adquiridas en los ensayos sin cambio de fase.....	37
Tabla 5 - Unidades de medida.....	37
Tabla 6 - Tabla de temperatura de ensayos.....	38
Tabla 7 - Resultados de calor específico y error para una temperatura determinada	48
Tabla 8- Resultados de calor latente y error	55
Tabla 9 - Tiempos de cambio de fase.....	55
Tabla 10 - Cp en función de la posición de medida.....	56
Tabla 11 - Composiciones, punto de fusión y estabilidad de las sales.....	143
Tabla 12 - Densidades y viscosidad de las sales	143
Tabla 13 - Tabla de conductividad de las sales	144
Tabla 14 - Propiedades del calentador de banda.....	145
Tabla 15 - Propiedades del calentador de cartucho	146
Tabla 16 - Desglose de precios de los componentes principales	151
Tabla 17 -Desglose de precios del material eléctrico.....	151
Tabla 18 - Desglose de precios de los componentes de control y medida	151
Tabla 19 -Desglose de precios del personal	152
Tabla 20 - Desglose de precios de otros gastos	152

MEMORIA

ÍNDICE DE MEMORIA

1. OBJETO	15
1.1 Objetivo:	15
1.2 Metodología:	15
2. ALCANCE.....	16
2.1. Clasificación de los sistemas termosolares de concentración	18
2.1.1. Sistema de concentración bidimensional 2D	18
2.1.1.1. Sistemas cilindro parabólicos:.....	18
2.1.1.2. Concentradores lineales tipo Fresnel:.....	18
2.1.2. Sistemas de concentración tridimensional 3D.....	19
2.1.2.1. Sistemas de receptor central:	19
2.1.2.2. Discos parabólicos.....	19
2.2. Principales líneas de investigación.....	20
2.3. Capacidad calorífica	21
3. ANTECEDENTES	22
3.2. Principales técnicas de Análisis Térmico	23
3.3. Microcalorimetría de flujo.....	23
3.4. Microcalorimetría diferencial de barrido	25
4. REFERENCIAS	27
4.1. Bibliografía	27
4.2. Programas de cálculo	28
5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS:	29
5.1. Abreviaturas	29
5.2. Símbolos griegos	29
5.3. Subíndices:	30
6. REQUISITOS DE DISEÑO.....	31
7. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES:	32
7.1. Tubo interior con corriente de aire.....	32
7.2. Recipiente dentro de un baño caliente.....	33
7.3. Cartucho calefactor	34
7.4. Anillo/Manta Calefactora	34
7.5. Varilla interior.....	35
7.6. Tubo interior	35

Índice de memoria

8. RESULTADOS FINALES	37
8.1. Sistema de adquisición de datos.....	37
8.1.1. Señales adquiridas en los experimentos sin cambio de fase	37
8.1.2. Unidades de adquisición	37
8.2. Ensayos.....	38
8.2.1. Modo de Realización de ensayo.....	38
8.2.2. Ensayos Sal HITEC.....	39
8.2.3. Ensayos Sal Solar	42
8.2.4. Ensayos Sal Quaternary.....	44
8.3. Ajuste del factor corrector de la potencia eléctrica “ β ”	48
8.4. Evaluación del Cp:	48
8.5. Evaluación del calor latente:	55
8.6. Evaluación de los diferentes puntos de medida:	56
8.6.1. Medidas para el calor específico:.....	56
8.7. Comparativa con los resultados de un DSC comercial	57
8.8. Cálculo de la conductividad térmica	58

1. Objeto

1. OBJETO

1.1 Objetivo:

El objetivo del Proyecto Fin de Grado es el diseño, construcción y puesta a punto de un nuevo sistema para la caracterización de la densidad de almacenamiento térmico que permita trabajar con una muestra suficiente de material (varios cientos de gramos) y tener la precisión suficiente de la medida.

La finalidad del sistema será medir la evolución de temperaturas en diferentes puntos para que posteriormente podamos caracterizar la sal, estimando propiedades como el calor específico (en sólido y líquido), el calor latente y la conductividad.

Todo esto lo hemos llevado a cabo en las instalaciones del laboratorio de Hidráulica de la Universitat Jaume I de Castellón de la Plana.

1.2 Metodología:

En la elaboración del Proyecto se ha seguido una metodología basada en el desarrollo de las diferentes fases que se relacionan a continuación:

Fase 1: Análisis del funcionamiento de los equipos comerciales.

Fase 2: Definición de las condiciones en las que serán realizadas los ensayos. En esta fase se estudiará cuales serán las necesidades del diseño (tipo de materiales, rango de temperatura, cantidad de sal, forma de calentamiento y medida).

Fase 3: Evaluación de las diferentes opciones para la elaboración del instrumento de medida.

Fase 4: Diseño de la vasija.

Fase 5: Simulación con ANSYS del comportamiento térmico y la mecánica del fluido.

Fase 6: Fabricación y montaje de la vasija.

Fase 7: Ensayo de las diferentes sales y procesado de resultados.

2. Alcance

2. ALCANCE

El planeta necesita de una fuente de energía que sea limpia, inagotable, segura, fácilmente accesible y gratuita para todos aquellos que posean los medios necesarios para utilizarla. Dicha fuente de energía existe ya: “El Sol”.

La creciente preocupación por los problemas medioambientales, ha estimulado la creación y puesta en marcha de tecnologías que funcionan a base de energías renovables como la radiación solar, el viento, etc., ya que son una opción sostenible para el desarrollo de procesos industriales que requieren grandes consumos de energía, como lo son las centrales eléctricas, las desalinizadoras de agua marina, el tratamiento de aguas contaminadas, etc. Para ello ya se han diseñado equipos capaces de captar estos tipos de energía y transformarla para su aprovechamiento.

Cuando hablamos de concentración solar, nos referimos a una serie de sistemas basados en distintas tecnologías desarrolladas para la conversión de la radiación solar en otra forma de energía, apta para su utilización inmediata o para su almacenamiento, mediante el uso de concentradores.

Entre estas tecnologías existen cuatro que destacan sobre las demás por su elevado grado de desarrollo: los sistemas de colectores cilindro parabólicos, los concentradores lineales tipo Fresnel, los sistemas de receptor central y los discos parabólicos. Los dos primeros concentran la radiación solar en un eje (dos dimensiones), mientras que los dos últimos lo hacen en un punto (tres dimensiones), pudiendo alcanzar así mayores relaciones de concentración.



Ilustración 1 - De izquierda a derecha, un disco parabólico, un concentrador lineal tipo Fresnel, un sistema de receptor central y un colector cilindro parabólico.

Los campos de aplicación de la energía solar térmica de concentración son muy amplios: calor de proceso, desalación, combustibles solares, etc., pero donde estos sistemas han alcanzado su mayor grado de desarrollo ha sido en el campo de la generación eléctrica, dando lugar a las conocidas como Centrales Termosolares. Estas centrales constituyen el medio más económico para la generación de electricidad a partir de la energía solar y añaden las ventajas correspondientes a una fuente renovable y respetuosa con el medio ambiente.

2. Alcance

Esquemáticamente, una central termosolar se compone de un sistema colector, un sistema receptor y un sistema de conversión de potencia, pudiendo además incorporar un sistema de almacenamiento térmico y un sistema de apoyo de combustible fósil.

El sistema colector capta y concentra la radiación solar sobre el receptor, donde la energía radiante se convierte en energía térmica, la cual finalmente se transforma en energía eléctrica en el sistema de conversión de potencia (ciclo termodinámico + alternador eléctrico).

Estas centrales termosolares pueden integrarse con un sistema de almacenamiento térmico o en operación híbrida con otros combustibles, así ofrecen una potencia firme y energía eléctrica despachable a las necesidades de la demanda. También de este modo son aptas para cargas punta y cargas base y la electricidad que generan se inyecta directamente a la red eléctrica.

Las centrales termosolares pueden llegar a sustituir algún día a las centrales eléctricas convencionales basadas en la quema de combustibles fósiles, lo que reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático.

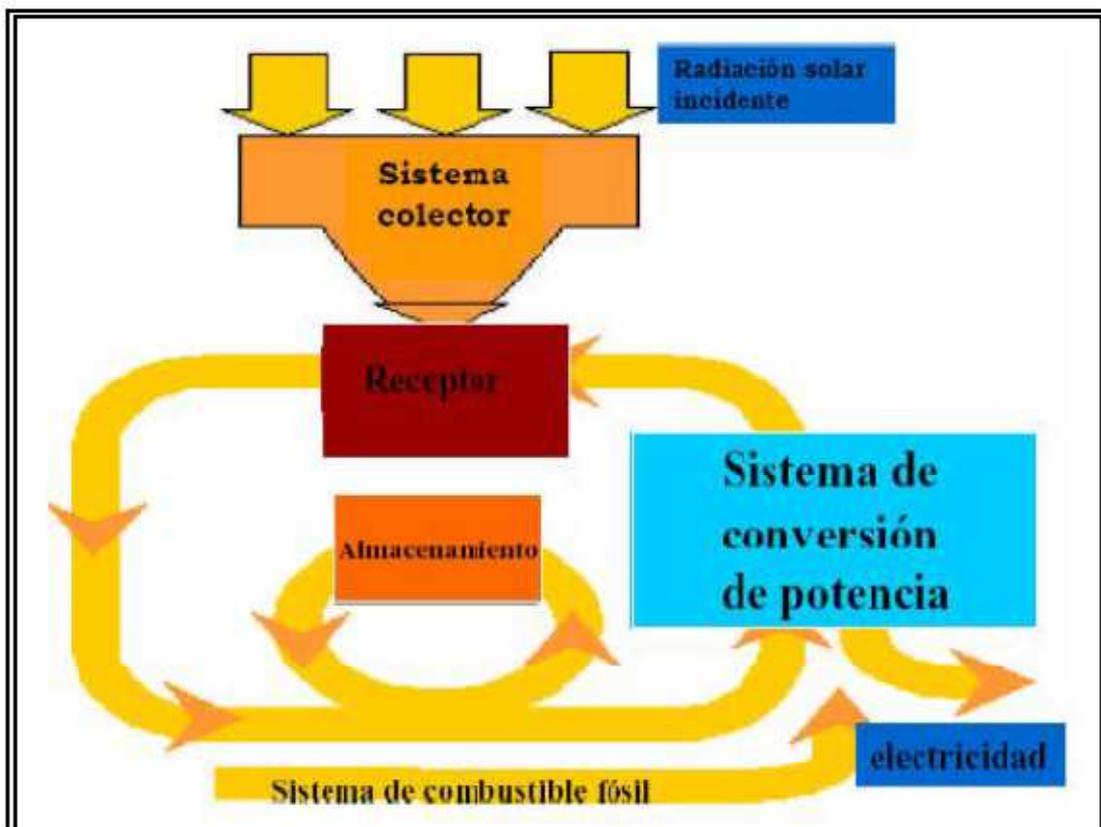


Ilustración 2 -Esquema general de una central termosolar.

2. Alcance

2.1. Clasificación de los sistemas termosolares de concentración

Conforme a la razón de concentración se distinguen los siguientes sistemas termosolares de concentración:

2.1.1. Sistema de concentración bidimensional 2D

2.1.1.1. Sistemas cilindro parabólicos: Estos sistemas utilizan espejos en forma de canales parabólicos que enfocan la luz solar sobre receptores tubulares de alta eficiencia, por los cuales circula un fluido térmico. Este fluido, normalmente aceite, es calentado a temperaturas de hasta 400°C y se bombea a través de una serie de intercambiadores de calor para producir vapor sobrecalentado, el cual acciona una turbina de vapor y un generador eléctrico convencional para producir electricidad mediante un ciclo Rankine, Brayton o combinados. La eficiencia solar-eléctrica alcanzada por estas centrales está sobre el 15%. Con estos sistemas se consiguen razones de concentración entre 70 y 100.

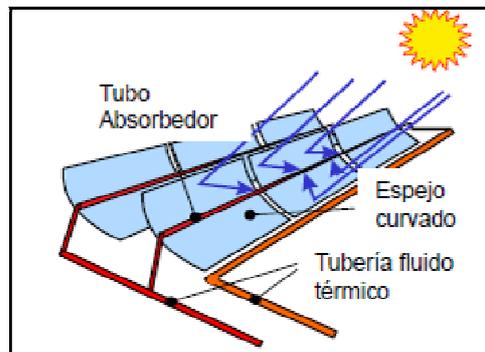


Ilustración 3 - Sistema cilindro parabólicos

2.1.1.2. Concentradores lineales tipo Fresnel: es también una tecnología de un solo eje de seguimiento, pero difiere del colector cilindro parabólico porque el absorbedor está fijo en el espacio, en la zona focal. Utiliza reflectores planos, simulando un espejo curvo por variación del ángulo ajustable de cada fila individual de espejos, en relación con el absorbedor. Destaca por la sencillez constructiva y por su bajo coste. Las eficiencias solar-eléctrica alcanzadas por estas centrales están en el rango de 8 a 10%. Se consiguen razones de concentración entre 30 y 70.



Ilustración 4 - Concentradores lineales, tipo fresnel

2. Alcance

2.1.2. Sistemas de concentración tridimensional 3D

2.1.2.1. Sistemas de receptor central: Utilizan un gran campo de espejos planos con seguimiento en dos ejes, llamados heliostatos, que siguen al sol para enfocar la radiación solar en un receptor central (intercambiador de calor) montado en lo alto de una torre y producen temperaturas aproximadas de 500 a 1500°C. Estas plantas son ideales para escalarse en el rango de 30 a 400 MW. Las eficiencias solar-eléctricas alcanzadas por estas centrales están en el rango del 15- 20%. Los factores de concentración que se consiguen en este caso oscilan entre 600 y 1000.

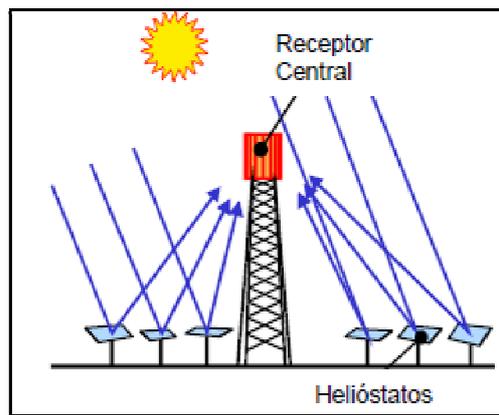


Ilustración 5 - Sistema de receptor central

2.1.2.2. Discos parabólicos: Estos sistemas consisten en un concentrador en forma de plato parabólico con un receptor en la zona focal. Estos concentradores se montan en una estructura con un sistema de seguimiento en dos ejes. El calor colectado es utilizado directamente por un motor térmico montado en el receptor que se mueve con la estructura del plato. Los motores de ciclo Stirling y de ciclo Brayton se utilizan actualmente para la conversión de energía térmica a mecánica-eléctrica. Este tipo tecnología es actualmente la más eficiente de todas las tecnologías solares, con cerca de 25% de eficiencia neta de conversión de la energía solar a eléctrica. Las razones de concentración también son las más altas, entre 1000 y 5000.

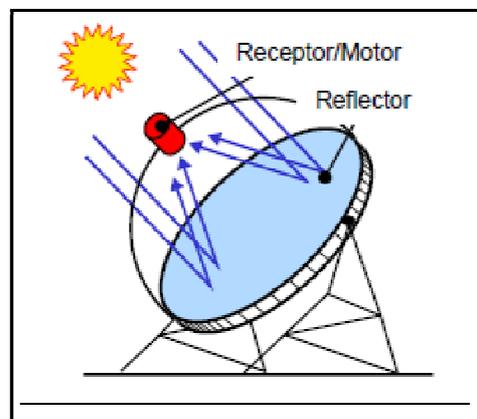


Ilustración 6 - Discos parabólicos

2. Alcance

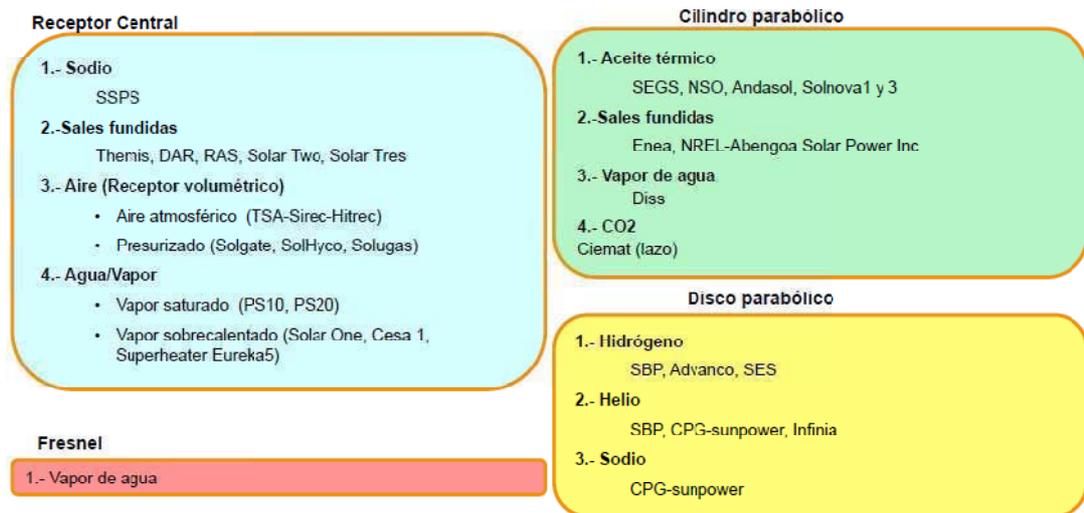


Ilustración 7 - Tipo de fluido de trabajo en función del tipo de central

2.2. Principales líneas de investigación

Una de las líneas principales de investigación y que es la que nos incumbe para este proyecto es la investigación sobre el almacenamiento térmico de las centrales, podemos mejorar estas propiedades usando nuevas mezclas de sales fundidas para aumentar el rango de temperaturas o uso de materiales con nanopartículas para mejorar las propiedades (entre otras la capacidad calorífica, que explicamos en el punto 2.3 que es y como mejora) de dicho material con lo que esto conllevaría a una reducción de costes y una optimización del proceso.

Una mejora del C_p implicaría que para almacenar la misma cantidad de energía necesitaríamos una cantidad menor de sales, lo que conllevaría una reducción de los tamaños de los depósitos, menor cantidad de sales o sea un ahorro económico; o que con la misma cantidad de sal seamos capaces de almacenar más energía; además de un ahorro en la energía eléctrica ya que habría que bombear menos fluido.

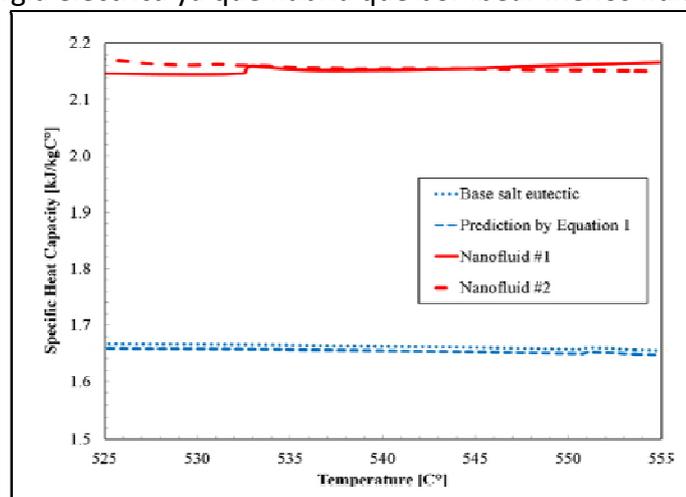


Ilustración 8 - Gráfica de la mejor del C_p al añadir nanopartículas

2. Alcance

2.3. Capacidad calorífica

El calor específico es una propiedad intensiva de la materia, por lo que es representativo de cada materia; por el contrario, la capacidad calorífica es una propiedad extensiva representativa de cada cuerpo o sistema particular.

Cuanto mayor es el calor específico de las sustancias, más energía calorífica se necesita para incrementar la temperatura. Por ejemplo, se requiere ocho veces más energía para incrementar la temperatura de un lingote de magnesio que para un lingote de plomo de la misma masa

El **calor específico medio** “ \hat{C} ” correspondiente a un cierto intervalo de temperaturas “ ΔT ” se define en la forma:

$$\hat{C} = \frac{Q}{m\Delta T}$$

Donde “ Q ” es la transferencia de energía en forma calorífica entre el sistema y su entorno u otro sistema, “ m ” es la masa del sistema (se usa una “ n ” cuando se trata del calor específico molar) y “ ΔT ” es el incremento de temperatura que experimenta el sistema. El **calor específico** “ C_p ” correspondiente a una temperatura dada “ T ” se define como:

$$C_p = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$$

El calor específico “ c ” es una función de la temperatura del sistema; esto es, $C_p(T)$. Esta función es creciente para la mayoría de las sustancias. Conocida la función $C_p(T)$, el calor asociado con un cambio de temperatura del sistema desde la temperatura inicial T_i a la final T_f se calcula mediante la integral siguiente:

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$$

En un intervalo donde la capacidad calorífica sea aproximadamente constante la fórmula anterior puede escribirse simplemente como:

$$Q \approx m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

3. Antecedentes

3. ANTECEDENTES

La entrada del calor en la Física Matemática hizo que desde mediados del siglo XIX se desarrollase un gran interés en las medidas precisas del calor involucrado en diferentes tipos de procesos. Surge así la Calorimetría, impulsada por la exigencia del conocimiento de las propiedades térmicas de los materiales empleados en las máquinas térmicas. Victor Regnault, por encargo del gobierno francés desarrolló una serie de técnicas calorimétricas para estudiar las propiedades del agua, su vapor y otras sustancias de interés ingenieril. El desarrollo de la termoquímica a manos de Julius Thomsen y Marcellin Berthelot supuso otro gran impulso a la ciencia de medida del calor. En la segunda mitad del siglo XX, los avances en nuevos materiales, la electrónica y la informática supusieron el perfeccionamiento de los métodos existentes y el desarrollo de otros más amplios, precisos y fáciles de utilizar.

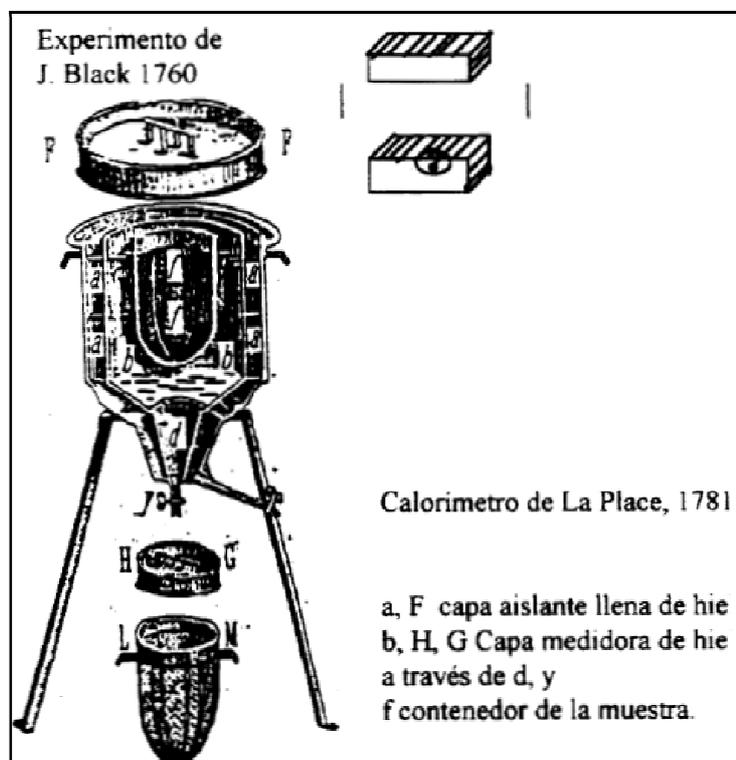


Ilustración 9 - Calorímetro de Laplace

La vieja divisa de los alquimistas, “*Ignis mutat res*”, el fuego cambia las cosas, volvió a tener actualidad, y se tradujo en la aparición de una serie de técnicas de análisis basadas precisamente en el hecho de que los materiales sufren cambios como consecuencia de ser sometidos a la acción del calor.

Estas técnicas se agrupan bajo la denominación común de Análisis Térmico, cuya definición podría ser la siguiente:

3. Antecedentes

“Análisis térmico es la medida de una propiedad física de una sustancia cuando es sometida a un programa de calentamiento controlado”.

Dependiendo de la propiedad que se mida, se definen varias técnicas, las más comunes de las cuales se citan a continuación.

3.2. Principales técnicas de Análisis Térmico

A continuación vamos a mostrar una tabla la cual indicamos las principales técnicas de análisis térmicos existentes, la abreviatura por la cual se les conoce y la propiedad de medida.

Nombre	Abreviatura	Propiedad medida
Análisis térmico diferencial	DTA	Diferencia de temperatura
Calorimetría diferencial de barrido	DSC	Flujo de calor
Termogravimetría	TG	Masa
Análisis Termoóptico	TOA	Aspecto físico
Análisis Termomecánico	TMA	Deformación
Análisis Dinamomecánico	DMA	Viscoelasticidad

Tabla 1 – Técnicas de análisis térmico

3.3. Microcalorimetría de flujo

Analizaremos uno de los tipos de calorímetros más utilizados en la actualidad, que permite medir el flujo de calor utilizando termopilas y veremos algunas de sus aplicaciones en diversos campos de las ciencias experimentales.

En 1821, casi al mismo que **Fourier** planteaba su ley de propagación de Calor, **T. J. Seebeck** planteaba las bases de la termoelectricidad, al descubrir que una diferencia de temperatura entre las soldaduras de un circuito de dos metales (termopar) provocaba una corriente eléctrica. Poco después, en 1834 **J. C. Peltier** completaba el descubrimiento de Seebeck al observar que cuando se hace fluir la corriente por un circuito termoeléctrico de dos metales, se produce una diferencia de temperatura entre sus dos soldaduras. La combinación de ambos efectos supone la simetría de los efectos termoeléctricos. Se comprobó que si se unen en serie varios termopares, la f.e.m. resultante es la suma de las f.e.m. (Fuerza electromotriz) de cada termopar; este dispositivo constituye una termopila. Si la termopila está formada por N termopares en serie, dispuestos entre dos placas separadas una distancia X, con una conductividad térmica κ entre ellas, y el poder termoeléctrico de cada termopar es $S = \delta\varepsilon / \delta T$, tendremos que la f.e.m de la termopila sometida a un ΔT entre sus caras será:

3. Antecedentes

$$\varepsilon = N \cdot S \cdot \Delta T$$

La Ley de Fourier establece que entre las caras de la termopila hay un flujo de calor.

$$\frac{dQ}{dT} = k \cdot A \frac{\Delta T}{x}$$

Si juntamos las dos formulas anteriores obtenemos:

$$\frac{dQ}{dT} = \frac{k \cdot A}{N \cdot S} \cdot \varepsilon$$

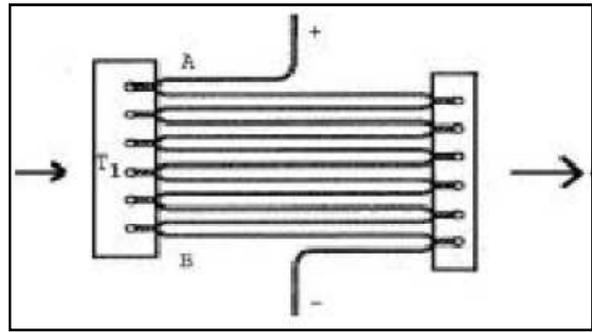


Ilustración 10 - Imagen de termopila

Es decir, el flujo de calor a través de la termopila es directamente proporcional a la f.e.m. producida, que puede medirse con gran precisión. Las magnitudes incluidas en la constante de proporcionalidad son características de construcción de la termopila, y puede ser obtenida por calibrado. Tenemos con este procedimiento una forma rigurosa de medir flujo de calor. Los profesores **Tian** y **Calvet** de Francia desarrollaron a mediados del siglo XX un tipo de calorímetro basado en estos principios, que perdura hasta nuestros días.

Esencialmente se trata de construir una célula cilíndrica de medida, rodeada de termopilas con un elevado número de termopares. El conjunto está introducido en un recinto termostataado de gran inercia térmica, de tal forma que todo intercambio de calor de la célula con el recinto externo supone un gradiente de temperaturas entre las soldaduras de los termopares pegadas a la célula y las soldaduras en contacto con un bloque termostataado. Esta pequeña diferencia de temperaturas provoca la aparición de una f.e.m. que puede ser registrada. Para evitar que perturbaciones térmicas parásitas supongan interferencias en la medida, se sitúa de forma simétrica otra célula idéntica (célula testigo) que se conecta en oposición con la anterior. De esta forma, cualquier perturbación térmica externa producirá idénticas respuestas eléctricas en ambas células, que se anularán gracias al montaje diferencial. La señal eléctrica se representa frente al tiempo, obteniéndose un termograma que refleja lo ocurrido en la célula laboratorio. Si no hay actividad, el termograma será plano; si tienen lugar procesos exotérmicos o endotérmicos, se traducirán en picos hacia arriba o hacia abajo cuya área obtenida por integración es directamente proporcional al calor transferido. El calibrado del aparato permite obtener medidas muy precisas de calor, pudiendo apreciarse cantidades de calor 40 millones de veces más pequeñas que una caloría (10^{-7} μJ).

El equipo puede emplearse en modo isoterma, con lo cual pueden obtenerse calores de reacción, de mezcla, de disolución, de crecimiento bacteriano, de germinación de semillas, de metabolismo de insectos etc. En general, puede estudiarse cualquier proceso en el que se produzca un intercambio de calor, compatible con el tamaño de las células (unos 10 cc). Se ofrecen algunos termogramas de procesos de interés realizados en modo isoterma.

3. Antecedentes

3.4. Microcalorimetría diferencial de barrido

Otra utilización de este aparato es en modo de barrido térmico: en este caso se trata de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). En este caso, puede modificarse la temperatura del recinto que rodea a las células según una secuencia programada, realizando un “barrido térmico”. Si las dos células contienen idénticas cantidades del mismo material durante el barrido térmico, las termopilas experimentarán el mismo flujo de calor, de tal forma que las señales eléctricas se anularán y el termograma mostrará una línea plana. Por el contrario, si en una célula hay un material con diferente comportamiento térmico al de la otra, las diferencias de flujos térmicos se traducirán en termogramas cuya interpretación servirá para la caracterización termofísica de la sustancia estudiada. Este método es extraordinariamente útil para el estudio de procesos inducidos por cambio de temperatura: cambios de fase, transformaciones alotrópicas, desnaturalización de proteínas, gelatinización de almidones, estabilidad térmica de medicamentos, curado de resinas, estudio de procesos de calentamiento y congelación de alimentos, etc.

A continuación se incluyen una serie de termogramas que ilustran diversas aplicaciones de la microcalorimetría en diferentes campos de la ciencia. En los pies de los dibujos se explican los procesos que tiene lugar. Las experiencias han sido realizadas en calorímetros MicroDSC y C 80 de la casa SETARM, y en un Calorímetro Calvet de temperatura ambiente, de fabricación casera.

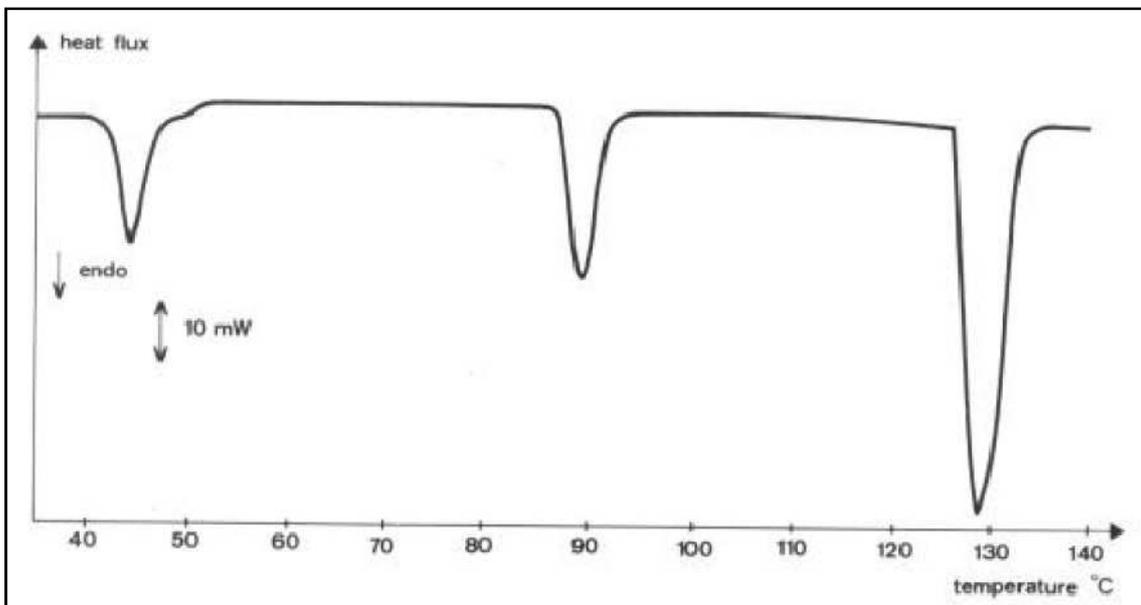


Ilustración 11 - Transiciones de fase del nitrato amónico

3. Antecedentes

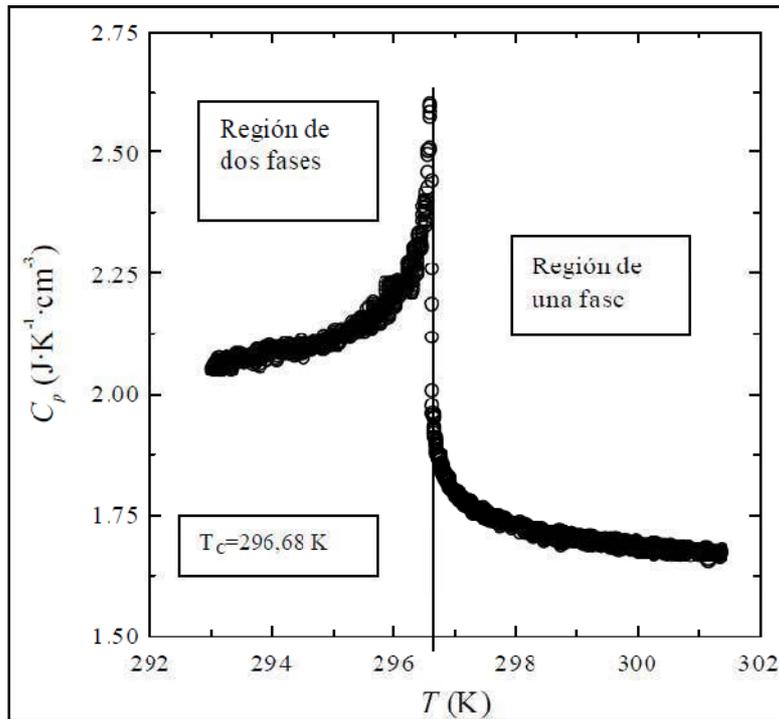


Ilustración 12 - Medida de Calores Específicos

La DSC permite medir calores específicos de líquidos con gran precisión. El termograma muestra una curva Lambda, característica de una transición de segundo orden en una mezcla de composición crítica, que presenta miscibilidad parcial al disminuir su temperatura, originándose una separación de fases a la temperatura crítica, que puede determinarse con mucha exactitud. La DSC es una herramienta muy valiosa para el estudio de los fenómenos críticos, un importante campo de investigación.

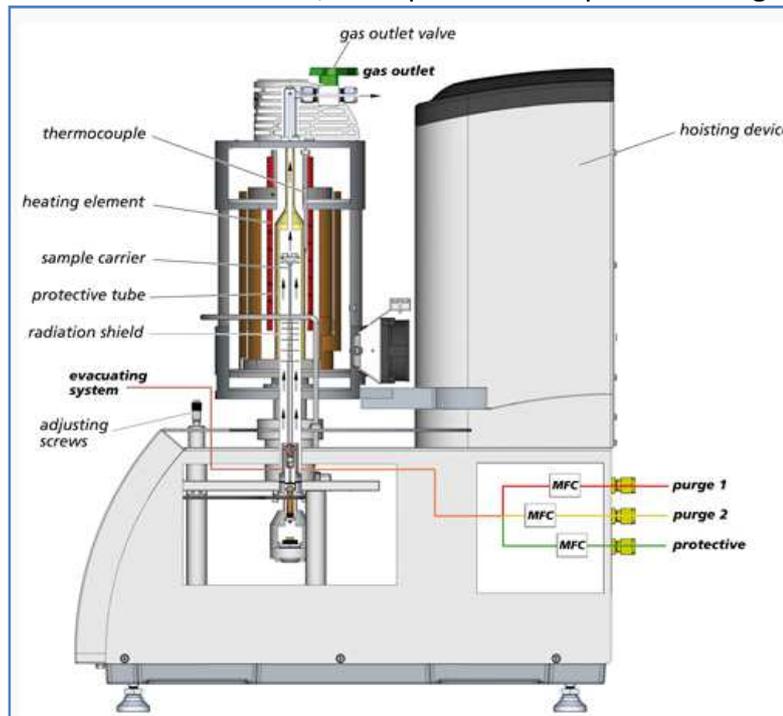


Ilustración 13 - Figura de un DSC

4. Referencias

4. REFERENCIAS

4.1. Bibliografía

Aguilar Peris, J. (1981). *Curso de Termodinámica*. Madrid.

Bradshaw, R. C. (1987). *A Review of Chemical and Physical Properties of Molten Alkali Nitrate Salts and Their Effect on Materials Used for Solar Central Receivers*. Sandia National Laboratories.

Bradshaw, R. C. (2009). *Molten nitrate salt development for thermal energy storage in parabolic trough solar power systems*. ASME Proceedings of Energy Sustainability 2009.

Bradshaw, R. S. (2008). *Molten nitrate salt development for thermal energy storage in parabolic trough solar power systems*. ASME Proceedings of Energy Sustainability 2008.

Bradshaw, R. (2010). *Viscosity of multi-component molten nitrate salts*. Sandia Report.

Brochure, C. C. *HITEC heat transfer salt*".

Carling, R. K. (1980). *Molten Nitrate Salt Technology Development Status Report*. Sandia National Laboratories.

Çengel, Y. A. (2007). *Heat and Mass Transfer, A Practical Approach*. McGraw-Hill.

Cerdeiriña, C. A., Miguez, J. A., Carballo, E., Tovar, C. A., de la Puente, E., & Romani, L. (2000). *Highly precise determination of the heat capacity of liquids by DSC: calibration and measurement* *Thermochimica Acta*.

Cerdeiriña, C. A., Troncoso, J., Carballo, E., & Romaní, L. (2002). *Heat capacity and thermal expansion anomalies in the nitromethane-1-butanol mixture near its upper critical point*. *Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*.

DELSO, J. A. (2011). *Proyecto final de carrera. Diseño y puesta en marcha de una instalación para la optimización de procesos de transferencia de calor con nanofluidos*.

DiGuilio, R. T. (1992). *The thermal conductivity of the molten NaNO₃-KNO₃ eutectic between 525 and 590 K*. *International Journal of Thermophysics*, vol. 13(4).

Donghyun Shin, D. B. (2014). *Specific heat of nanofluids synthesized by dispersing alumina*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

E., C., & Prat, H. (1956). *Microcalorimetrie. Applications Physico-chimiques et biologiques*. . Masson, Paris.

Fernandez, D. S. (2013). *Proyecto final de carrera. Diseño de una metodología experimental para la caracterización del proceso de transferencia de calor con ebullición mediante nanofluidos*.

4. Referencias

- Mar, R. B. (1982). *Progress report: Molten Nitrate Salt Technology Development*. Sandia National Laboratories.
- Nathan P. Siegel, R. W. (2011). *THERMOPHYSICAL PROPERTY MEASUREMENT OF NITRATE SALT HEAT TRANSFER FLUIDS*. Sandia National Laboratories.
- Prigogine, I., & Stengers, J. (1990). *La nueva alianza: Metamorfosis de la Ciencia*. Madrid.
- Sánchez, D. M. (2013). *ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA SOLAR DE CONCENTRACIÓN*.
- Washington, D. o. (1992). *DOE FUNDAMENTALS HANDBOOK, THERMODYNAMICS, HEAT TRANSFER, AND FLUID FLOW*.
- Wunderlich, B. (1999). *Thermal Analysis*.
- Zamora Carranza, M. T. (1998). *Un estudio de los sistemas termodinámicos*. Sevilla: Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

4.2. Programas de cálculo

A continuación se detallarán los programas utilizados durante el diseño del instrumento:

- ANSYS Workbench 14.5
Distribuidor: SAS IP inc.
Módulos utilizados: CFX
- MATLAB 7.1
Distribuidor: Mathworks

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS:

5.1. Abreviaturas

a, b, c = Coeficientes de la recta de regresión
 C_p = Calor específico (J/g·K)
d = Densidad (g/cm³)
D = Diámetro (mm)
E = Energía (J)
h = Altura (mm)
I = Intensidad (A)
L = Longitud (mm)
m = Masa (g)
n = Número de puntos
p = Pendiente
 P_{elec} = Potencia eléctrica consumida (W)
Q = Potencia Térmica (W)
R = Resistencia (Ω)
S = Sección (mm²)
t = Tiempo de calentamiento (s)
T = Temperatura (C)
T1 = Temperatura inicio de la recta de ajuste
T2 = Temperatura final de la recta de ajuste
V = Volumen (mm³)
V = Voltaje (v)

5.2. Símbolos griegos

α = Coeficiente de temperatura
 β = Factor corrector de la potencia eléctrica
 Δ = Incremento
 ϵ = Error
 λ = Calor latente de cambio de fase (J/g)
 ρ = Resistividad ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

5. Definiciones y abreviaturas

5.3. Subíndices:

Amb = Ambiente
Cal = Calentamiento
CF = Cambio de fase
Ext = Exterior
Enf = Enfriamiento
Energ.int = Energía interna
Int = Interior
Liq = Líquido
o = Inicial
Perd = Pérdidas
Sol = Sólido

6. Requisitos de diseño

6. REQUISITOS DE DISEÑO

El objetivo principal de la vasija es proporcionar medidas de la evolución de la temperatura con el tiempo en distintas posiciones de la misma. El análisis de los datos obtenidos permitirá evaluar el calor específico de la sal a distintas temperaturas, el calor latente de cambio de fase de aproximadamente 50g de sal.

Desde un punto de vista experimental, los ensayos con cambio de fase son más complicados ya que hay un periodo de tiempo donde coexisten zonas con la sal en fase líquida con zonas con la fase sólida y calentarla homogéneamente puede resultar complicado, por ello el diseño del calentador ha de calentar por igual en todas las direcciones tanto radial como axialmente; además para evitar grandes gradientes de temperatura el calentamiento ha de ser lo más lento posible pero sin llegar a hacer que el tiempo del ensayo sea muy largo (máximo 1.30h).

Al tratarse de una sal porosa, al introducirla en el sistema quedan muchas cámaras de aire que, al ser aislantes, introducirían un gran error sistemático en la medida. A fin de evitar que esto ocurra, el proceso de llenado se realiza de forma progresiva. Así, tras cada tanda, se funde la sal de manera que el gas se elimine y su volumen se compacte. Este proceso se repite hasta que el recipiente esté completamente lleno.

Por lo que respecta a la realización de los ensayos, los requisitos necesarios son variables según la sal inorgánica que se desee medir, dado que el punto de cambio de fase depende de la sal que se mida. Para poder medir los calores latentes de la mayor parte de sales se necesita que el sistema trabaje en un rango desde temperatura ambiente hasta un máximo de 400°C. Además, como los ensayos no requieren estar presurizados, se realizarán a presión atmosférica. Esto facilita la preparación del montaje de tal forma que el vaciado de la sal se haga cuando se encuentra en fase líquida volcando la vasija, por lo que la tapa deberá ser fácilmente extraíble, y con ella todos los termopares de la parte superior.

A la fuente de alimentación se le pide que de una potencia cercana a los 40W (40A, 1 v) y que sea constante en el tiempo.

Para la construcción de la vasija es necesario emplear un material que aguante hasta 400°C sin sufrir deformaciones y que tenga las menores pérdidas posibles, también este material debe ser mecanizable para lograr la forma que necesitamos.

7. Análisis de las soluciones

7. ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES:

Vamos a evaluar diferentes opciones que podrían cumplir los requisitos anteriores:

7.1. Tubo interior con corriente de aire

Esta idea surge de un proyecto de mayor escala realizado por Areva Solar, realizando módulos separados para el calentamiento de la sal mediante el paso de vapor de agua muy caliente y sacando el agua.

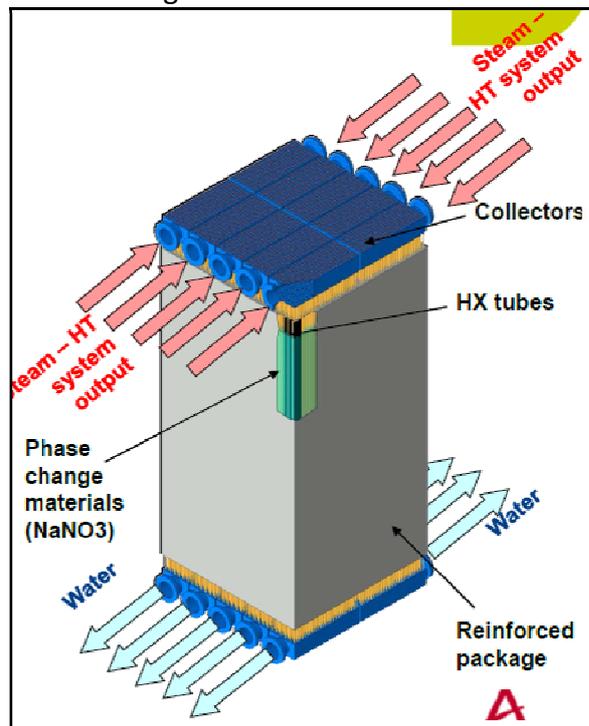


Ilustración 14 - Imagen de un módulo de Areva

Escalando este diseño y reconduciéndolo para nuestro uso, decidimos cambiar el empleo de vapor de agua por una corriente de aire caliente además de un cambio para adaptarlo al objetivo del presente trabajo.

En una primera versión, se pensó en realizar un diseño consistente en un recipiente cilíndrico que contendría la sal, el cual sería calentado mediante un tubo concéntrico en el interior por el cual pasaría una corriente de aire caliente la que serviría de aporte energético a la sal.

La problemática de este diseño inicial es que resultaría muy complicado saber cuánta energía estamos aportando a la sal ya que el recipiente sería de unos 10 cm de alto y en esa distancia el aire no perdería mucha temperatura por lo que el error que cometeríamos al calcular el aporte del aire a la sal sería muy grande.

7. Análisis de las soluciones

7.2. Recipiente dentro de un baño caliente

En vista de la problemática que nos aparecía a la hora de medir el aporte de calor al sólido, nos decidimos por otro método de medida del calor específico basado en diferencia de temperaturas y ver cuál es la temperatura de equilibrio:

Consiste en tener agua a cierta temperatura, un sólido a otra temperatura y al juntarlos ver cuál es la temperatura de equilibrio y aplicar la formula:

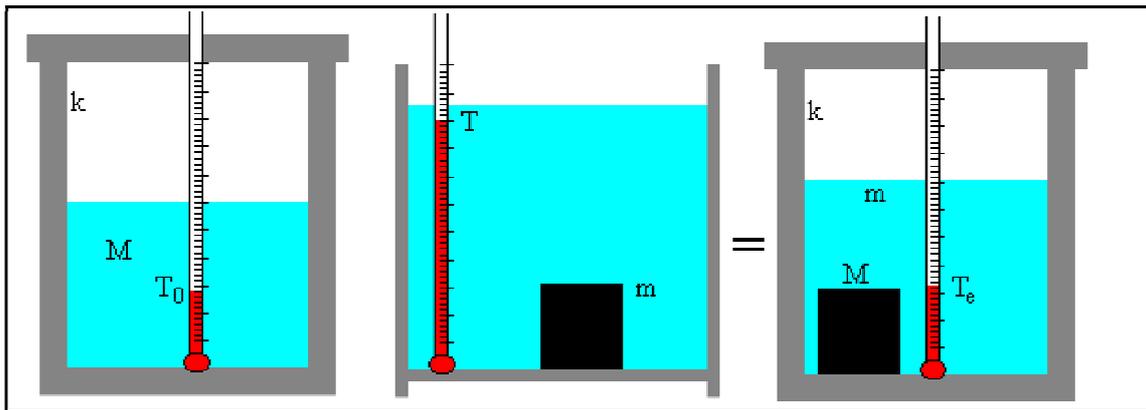


Ilustración 15 - Experimento para medir Cp

$$k = \frac{m(T - T_e)}{T_e - T_0} - M \text{ (Equivalente en agua)}$$

$$C_p = \frac{(M + k)(T_e - T_0)}{m(T - T_e)}$$

Basándonos en este experimento y adaptándolo a nuestras necesidades sacamos el siguiente diseño:

El diseño se basa en un recipiente hermético que contiene la sal, y que es introducido en un baño caliente a una temperatura conocida. Al introducir el recipiente, la sal comenzará a absorber una cierta cantidad de energía que podrá calcularse midiendo la temperatura del baño al llegar al equilibrio

Los inconvenientes de hacer esto son el conseguir un recipiente cerrado herméticamente con la sal ya que se tendrá que abrir y cerrar repetidas veces para el cambio de la sal, aparte de medir la temperatura en el interior; además registrar la variación de la temperatura del baño sería complicado ya que hay mas pérdidas aparte de lo que absorbe la sal; aparte de que el baño tendría que estar a 400°C con el peligro que entraña de vapores,...

7. Análisis de las soluciones

Descartada la opción anterior se decidió seguir por la línea de un cilindro que contenga la sal y calentando la sal desde dentro o desde fuera pero de tal forma que sea posible controlar la potencia que se está aportando al sistema. Así, la solución óptima será la de calentar la sal mediante una resistencia eléctrica. Se consideraron las siguientes alternativas:

7.3. Cartucho calefactor

El diseño sería similar a la primera opción pero en vez de calentar con una corriente de aire se introduciría una vaina calefactora en el medio.



Ilustración 16 - Imagen de un calentador de cartucho

El calentador se introduciría en medio de la sal y aplicando un voltaje lograríamos calentar la sal hasta lo que el calentador permitiese, con esto seríamos capaces de hacernos una idea de la potencia eléctrica que estamos metiendo a la sal.

Este procedimiento tiene el inconveniente de que no es posible determinar cuánta potencia de la que circula por la resistencia es realmente absorbida por la sal y cuánta se invierte en calentar el dispositivo en sí.

7.4. Anillo/Manta Calefactora

Otra opción es calentar el bloque de sal pero de fuera hacia dentro colocando un anillo calefactor en la periferia, el funcionamiento sería el mismo al del cartucho.



Ilustración 17 - Imagen de un calefactor de banda

7. Análisis de las soluciones

Los problemas serían similares a los de la vaina, además para las pérdidas esta opción tiene más ya que hay parte que se iría directamente al ambiente.

7.5. Varilla interior

Al ver la problemática de utilizar una resistencia comercial para calentar, se opta por utilizar una varilla de acero inoxidable en el centro de la sal que al pasar una corriente eléctrica se calentaría por efecto Joule logrando así un calentador artesano, en este caso sí que sería posible determinar cuánta potencia se está introduciendo realmente en el sistema, dado que la energía necesaria para calentar el acero es despreciable.

Este diseño tiene varios problemas, ya que al ser una varilla resulta muy complicado saber la temperatura de la pared del calentador necesaria para el ensayo; otro problema es que al ser una varilla de longitud muy pequeña y de sección grande respecto a la longitud la resistencia eléctrica es muy pequeña por lo que la caída de voltaje en ella es muy pequeña y para lograr los 40W hay que trabajar con intensidades muy grandes (Superiores a 10A).

7.6. Tubo interior

Para evitar la problemática del diseño anterior se optó finalmente por utilizar un tubo ya que con el tubo se reduce la sección, aumentando la resistencia, logrando así que haya más caída de voltaje; además al ser hueco es posible insertar un termopar en el interior tocando el tubo logrando así tener un registro de la temperatura de la pared del tubo; para evitar pérdidas por convección a través del interior del tubo se ha rellenado este hueco con una varilla de cerámica (MACOR) que hará como aislante.

Habiendo logrado ya un diseño viable para la medición del C_p , calculamos las dimensiones de la vasija con diferentes medidas de tubos y materiales, además de la potencia necesaria, el tiempo,...

Para la vasija el diámetro que se ha elegido ha sido una varilla de cerámica de 25mm de diámetro que posteriormente se vaciará.

Para el diseño de la vasija tenemos 4 variables que son el material del tubo, el diámetro del tubo, el espesor del tubo y la intensidad.

Se ha optado por 4 materiales Hastelloy, Inconel, Inox304, Inox316. Los dos primeros tienen una resistencia más alta que los dos segundos pero el problema es que son más caros; los diámetros del tubo son 6mm y 7mm y espesores que varían entre 0.25mm y 0.9mm dependiendo del material y la intensidad se eligió de 40A

7. Análisis de las soluciones

Selección de las dimensiones:

Material	Resist (Ohmcm)	Dext varilla (mm)	Dint varilla (mm)	Espesor varilla (mm)	Dint tubo (mm)	Esp Tubo (mm)	S varilla (mm ²)	S libre (mm ²)	Lsal(mm)	L(mm)
Hastelloy	1,28E-04	6,35	4,55	0,9	20,35	2,325	15,409548	293,5825	71,5	83,5
Inconel	1,03E-04	6,15	5,15	0,5	20,15	2,425	8,87502	289,1843	72,6	84,6
	1,03E-04	7,5	6,1	0,7	21,5	1,75	14,954016	318,8724	65,9	77,9
Inox304	7,20E-05	6	5,5	0,25	20	2,5	4,51605	285,8856	73,5	85,5
	7,20E-05	7	6,5	0,25	21	2	5,30145	307,8768	68,2	80,2
Inox316	7,40E-05	6	5,5	0,25	20	2,5	4,51605	285,8856	73,5	85,5
	7,40E-05	7	6,5	0,25	21	2	5,30145	307,8768	68,2	80,2
hTapa(mm)		6								
Espacio(mm)		7								
Dext(mm)		25								
Masa(g)		42								
Dens(g/cm³)		2								
V sal(cm³)		21								

Tabla 2 - Tabla de Cálculo de dimensiones

Cálculo de la potencia y estimación de tiempo sin considerar pérdidas:

I(A)	40
α	0,00094
To	25
T	250

Qnecesario(J)	12285
Cp est(J/gK)	1,3
Masa(g)	42
To	25
T	25,4
Tf	250

Material	Dext vari-lla(mm)	Espesor varilla (mm)	R(W)(20°C)	R(W)(250°C)	V250(V)	P(W)	Taprox (min)
Hastelloy	6,35	0,9	6,9385E-05	8,4059E-05	0,00336238	0,13449517	1522,35945
Inconel	6,15	0,5	0,00982044	0,01189746	0,4758985	19,0359399	10,7559701
	7,5	0,7	0,00536262	0,00649682	0,25987279	10,3949117	19,6971369
Inox304	6	0,25	0,01362436	0,01650591	0,66023646	26,4094582	7,75290422
	7	0,25	0,01089335	0,01319729	0,52789177	21,1156707	9,69658993
Inox316	6	0,25	0,01400281	0,01696441	0,67857636	27,1430543	7,54336626
	7	0,25	0,01119594	0,01356389	0,54255543	21,7022171	9,43451993

Tabla 3 - Tabla de cálculo de potencias y tiempo

Observando la tabla con los tiempos obtenidos y considerando que se han obtenido despreciando pérdidas, la mejor opción para el diseño será un tubo de Acero Inox304 de 7mm de diámetro y 0.25mm de pared y con una fuente de 40A.

En el Anexo de cálculos están todos los cálculos detallados (Apartado 9 Pág. 70)

8. Resultados Finales

8. RESULTADOS FINALES

8.1. Sistema de adquisición de datos

La adquisición y almacenamiento de las señales de los sensores se realiza gracias al sistema de adquisición Agilent 34972A equipado con 1 multiplexor de 20 canales. Los datos son transferidos a un PC para poder ser procesados y almacenados con el programa Agilent Benchlink Data Logger Pro.

A continuación se muestran unas tablas en las que se resume el número de canales que se utilizan, así como el tipo de sensor que tiene conectado cada canal y la medida que realizan:

8.1.1. Señales adquiridas en los experimentos sin cambio de fase

Canal	Medida	Sensor
1,2	Temperatura de la pared de la vasija	Termopar Tipo K
3,4,5	Temperatura a diferentes radios en la tapa de la sal	Termopar Tipo K
6	Temperatura en el interior del tubo	Termopar Tipo K
7	Voltaje	Pinzas
8	Amperaje	Pinza Amperimétrica
9, 10, 11	Temperatura a diferentes radios en la base de la sal	Termopar Tipo K

Tabla 4 -Señales adquiridas en los ensayos sin cambio de fase

8.1.2. Unidades de adquisición

Canal	Medida	
1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11,	Temperatura	°C
7	Voltaje	V
8	Intensidad	A

Tabla 5 - Unidades de medida

8. Resultados Finales

8.2. Ensayos

Para este proyecto se realizaron un total de 2-3 ensayos para tres sales diferentes, Sal HITEC, Sal Solar y Sal Quaternary con el fin de saber si existe repetitividad.

En cada uno de los ensayos se realizó un calentamiento hasta la temperatura marcada, que varió en función de la sal, para luego registrar el correspondiente enfriamiento.

	Sal HITEC	Sal Solar	Sal Quaternary
Temperatura(°C)	250	350	200

Tabla 6 - Tabla de temperatura de ensayos

8.2.1. Modo de Realización de ensayo

El primer paso del ensayo es pesar la vasija vacía con los termopares para saber cuánto pesa en vacío y al compararlo luego con lo que pesa llena sepamos cuanta sal hay dentro.

A continuación se procede al llenado de la vasija. Como se explicó anteriormente, debido a la porosidad de la sal y que se vende en forma de pequeñas bolitas, hay que realizar este proceso de tal forma que se llene toda la vasija sin dejar huecos de aire. Así, a medida se va introduciendo la sal hay que fundirla hasta que el líquido llegue casi hasta arriba, dejando un margen ya que la sal al solidificarse se expande. Para ello se deja la tapa de la vasija abierta y se inserta añade la sal con el calentador encendido. A medida que la sal se vaya fundiendo el nivel irá bajando y será posible seguir rellenando la vasija con más cantidad de sal. Una vez la vasija está llena de sal sólida se cierra la tapa y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Una vez todo se ha enfriado se procedió a pesarla de la misma forma que se hizo al principio para saber la masa contenida.

Cuando ya se tiene el peso, volvemos a poner la vasija en su lugar, y la envolvemos con la lana de roca para evitar las pérdidas, se conecto todos los termopares, pinzas para la tensión y el amperaje y ya se puede proceder a realizar la medida.

Se puso la fuente de alimentación en marcha para que empiece a calentar dejándolo hasta la temperatura que deseada; una vez alcanzado esta se procedió a desconectar la fuente de alimentación y se dejaron todas las condiciones exteriores igual(ventilación, ...) para posteriormente con el enfriamiento poder evaluar las pérdidas del calentamiento; una vez ha llegado a enfriarse hasta donde se necesite volvemos a proceder igual que antes para medir otro ciclo de temperatura.

8. Resultados Finales

Una vez acabado todos los ciclos para vaciar la sal se ha de hacer con la sal líquida. Así que procedemos a calentarlo hasta una temperatura bastante superior a la del cambio de fase, se abre la tapa y volcamos la sal en un recipiente metálico y se deja enfriar, una vez este fría se limpia el interior de la vasija con agua para quitar la sal restante y está ya listo para una nueva sal.

8.2.2. Ensayos Sal HITEC

El ensayo de la sal HITEC se hizo con una cantidad de 56g, la que se ensayó 3 veces haciendo el ciclo completo de calentamiento y enfriamiento

Ciclo 1 calentamiento:

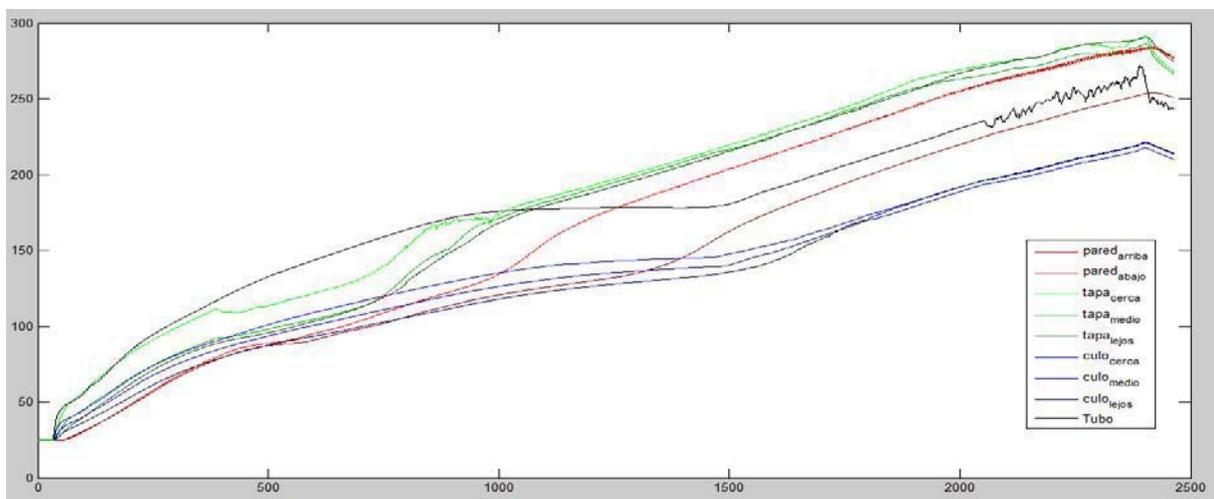


Ilustración 18 - Gráfica del calentamiento ciclo 1 sal hitec

Ciclo 1 enfriamiento

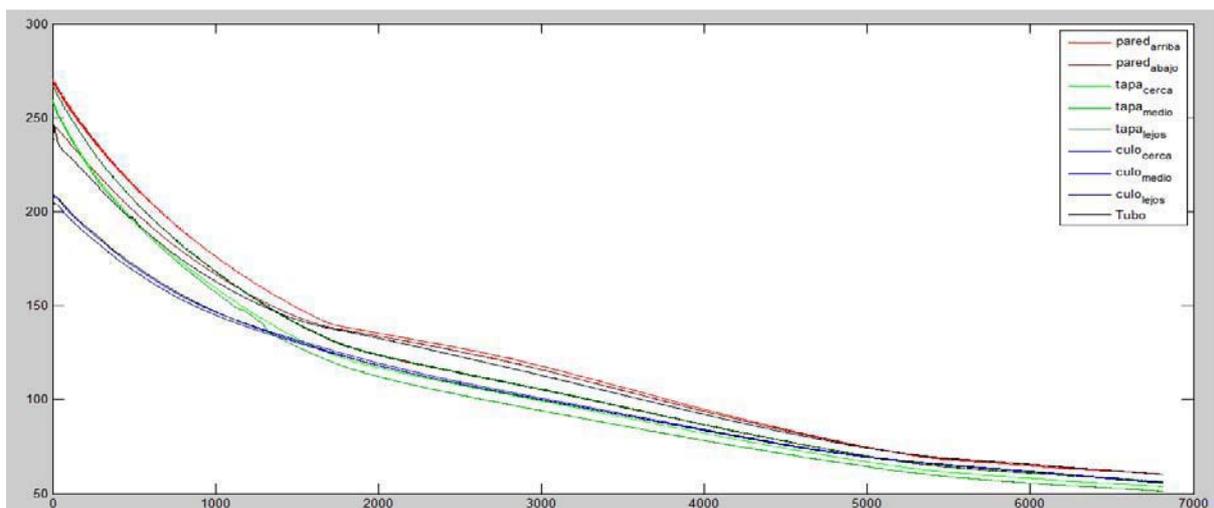


Ilustración 19 - Gráfica del enfriamiento ciclo 1 sal hitec

Tiempo de calentamiento de 2400 s y enfriamiento de 6900 s

8. Resultados Finales

Ciclo 2 calentamiento:

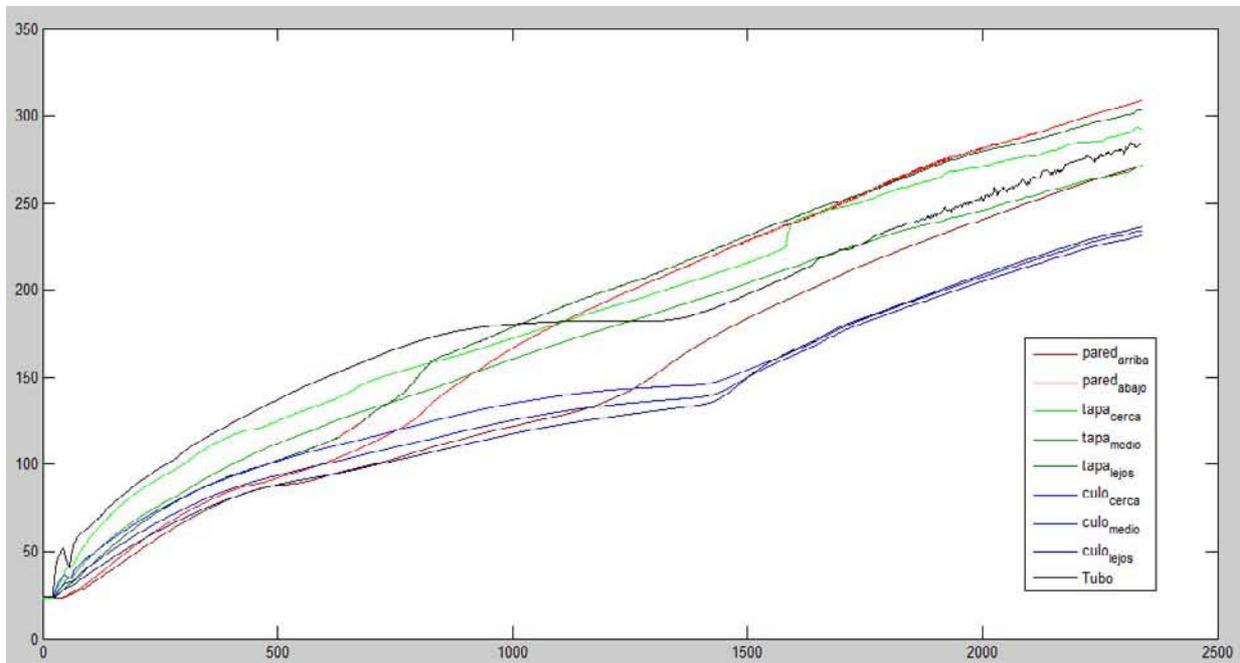


Ilustración 20 - Gráfica del calentamiento ciclo 2 sal HITEC

Ciclo 2 enfriamiento:

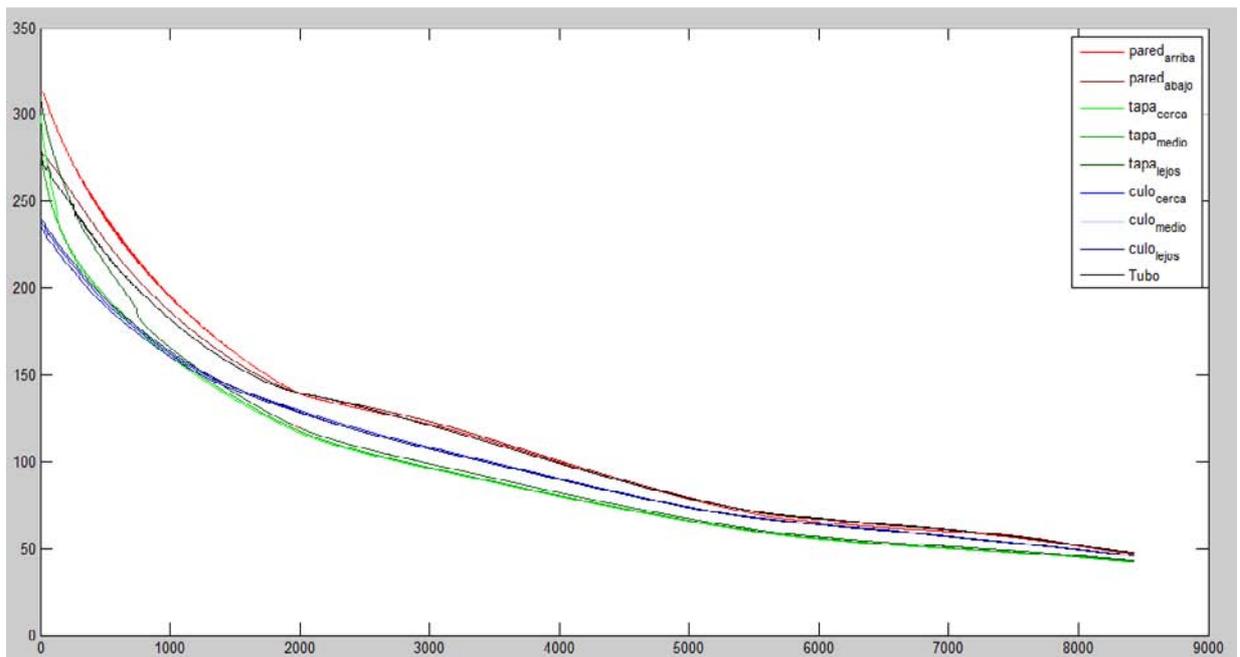


Ilustración 21 - Gráfica del enfriamiento ciclo 2 sal HITEC

Tiempo de calentamiento de 2350 s y enfriamiento de 8400 s

8. Resultados Finales

Ciclo 3 calentamiento:

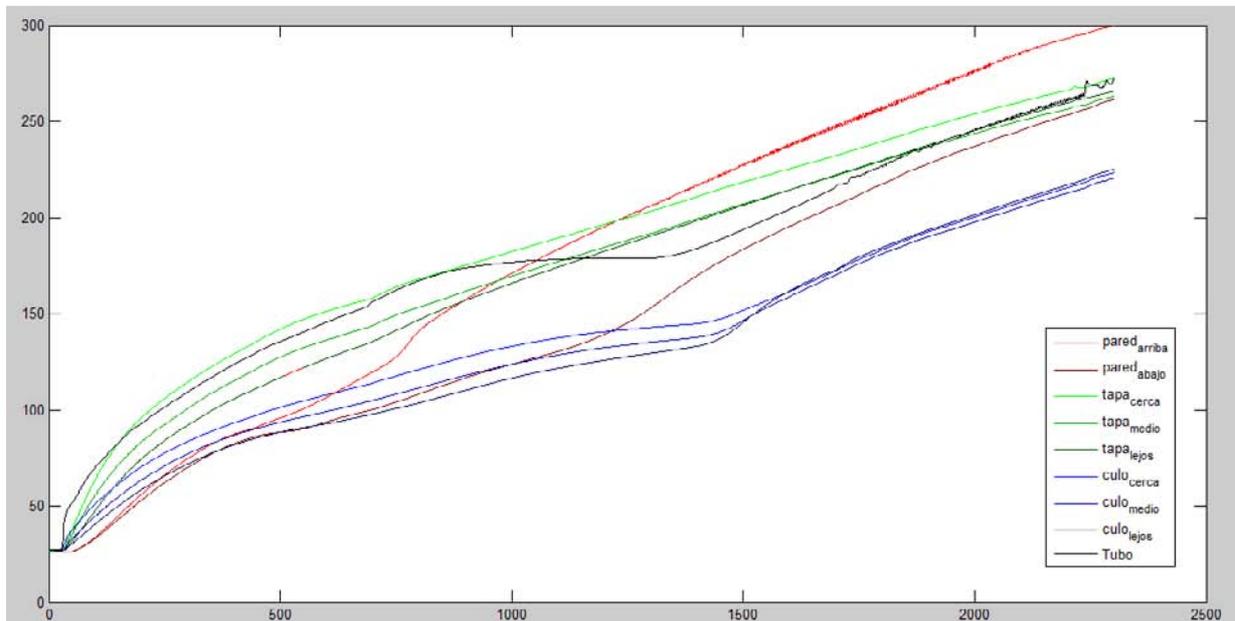


Ilustración 22 - Gráfica del calentamiento ciclo 3 sal HITEC

Ciclo 3 enfriamiento:

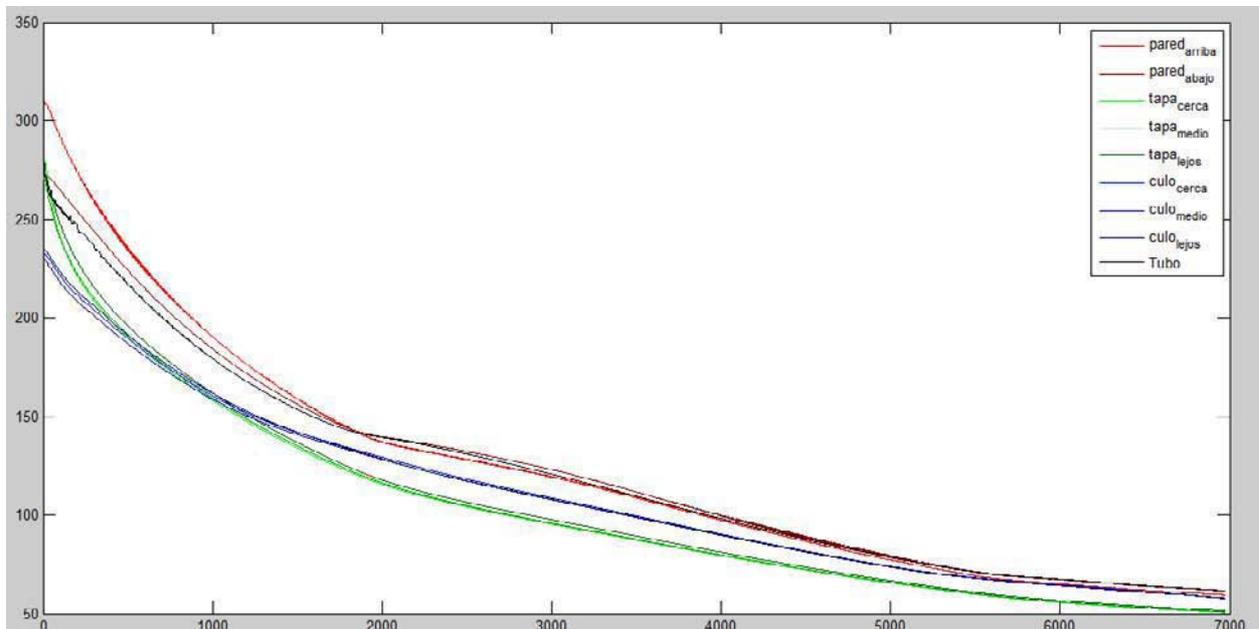


Ilustración 23 - Gráfica del enfriamiento ciclo 3 sal HITEC

Tiempo de calentamiento 2300 s y enfriamiento de 7000 s

8. Resultados Finales

8.2.3. Ensayos Sal Solar

El ensayo de la sal Solar se hizo con una cantidad de 49g, la que se ensayó 2 veces haciendo el ciclo completo de calentamiento y enfriamiento.

Ciclo 1 calentamiento:

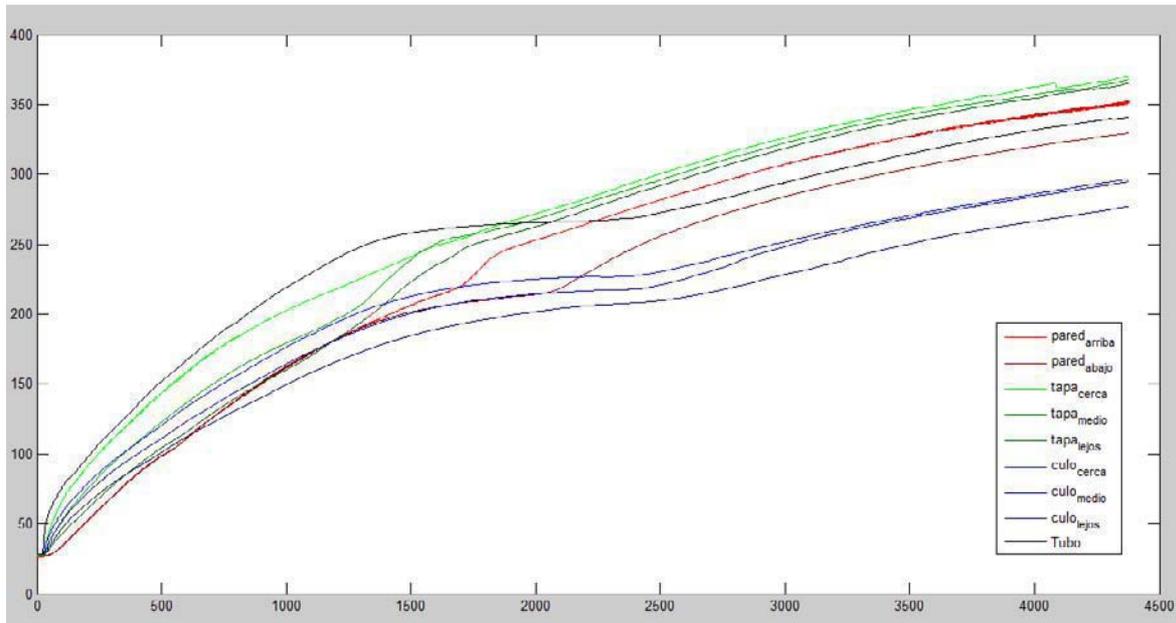


Ilustración 24 – Gráfica del calentamiento ciclo 1 Sal Solar

Ciclo 1 enfriamiento

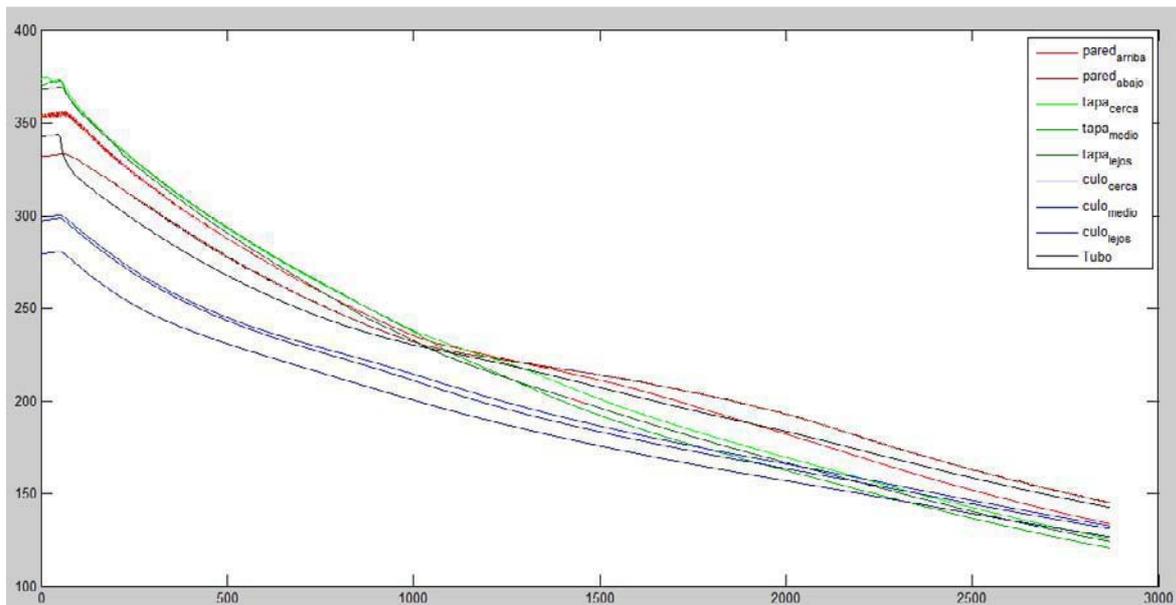


Ilustración 25 - Gráfica del Enfriamiento ciclo 1 Sal Solar

Tiempo de calentamiento 4400 s y enfriamiento de 2800 s

8. Resultados Finales

Ciclo 2 calentamiento:

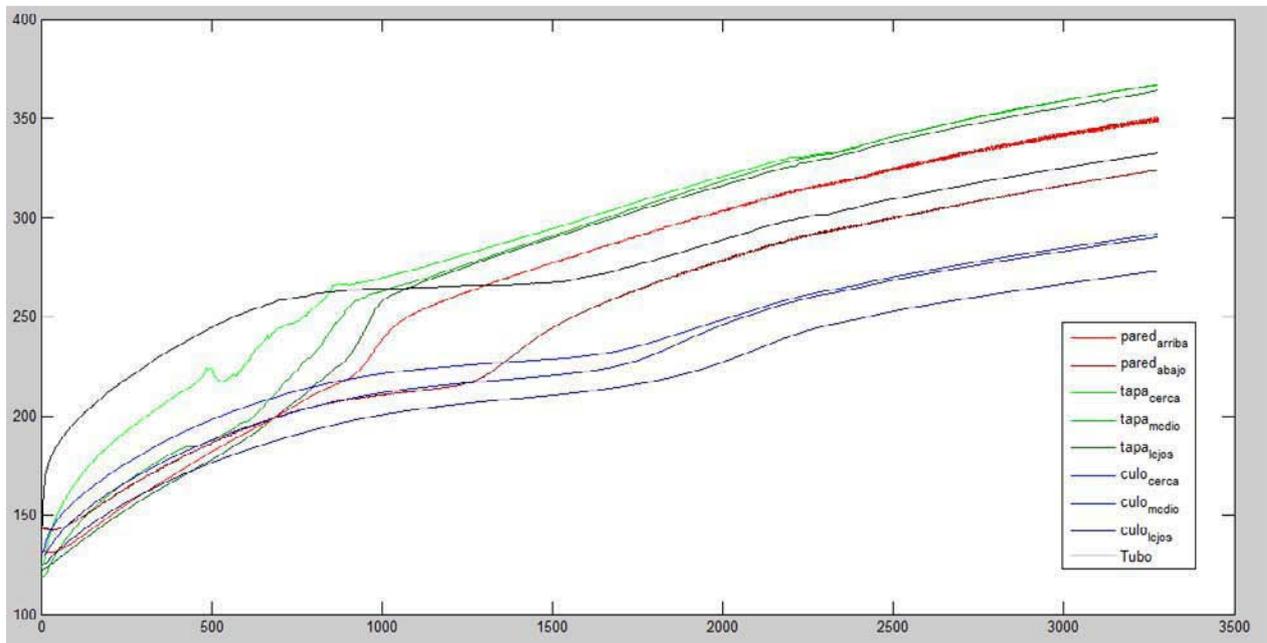


Ilustración 26 - Gráfica del calentamiento ciclo 2 Sal Solar

Ciclo 2 enfriamiento:

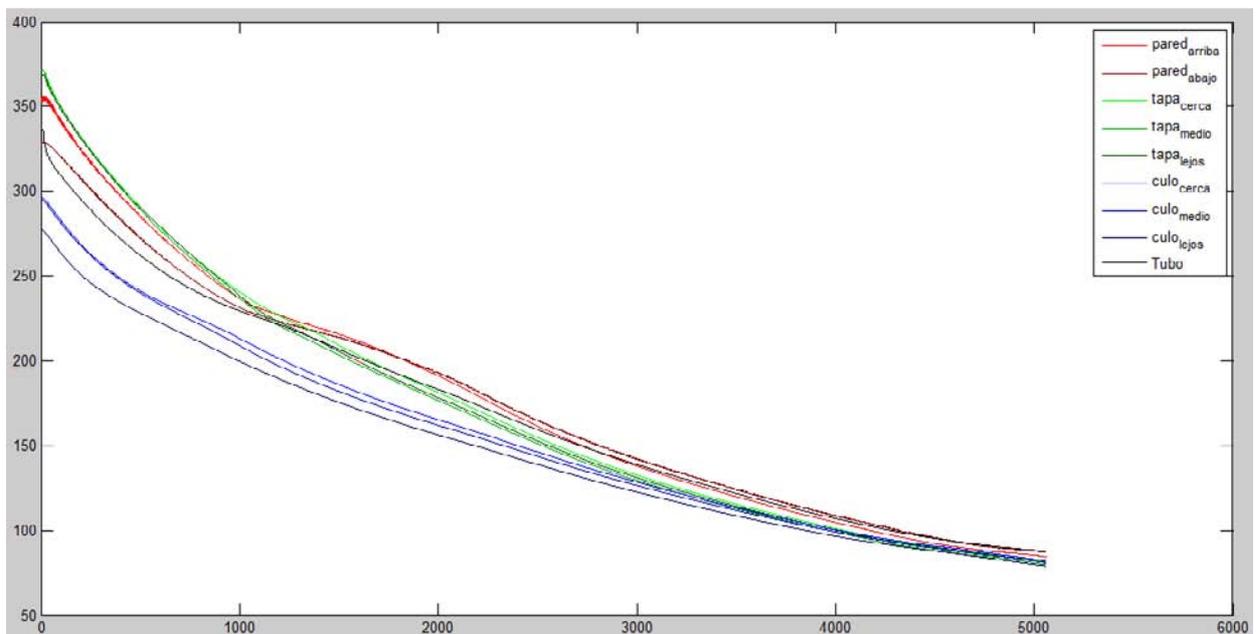


Ilustración 27 - Gráfica del enfriamiento ciclo 2 Sal Solar

Tiempo de calentamiento 3250 s y enfriamiento de 5000 s.

8. Resultados Finales

8.2.4. Ensayos Sal Quaternary

El ensayo de la sal Quaternary se hizo con una cantidad de 45g para el que se han realizado 3 ensayos (+1 más despacio).

Ciclo 1 calentamiento:

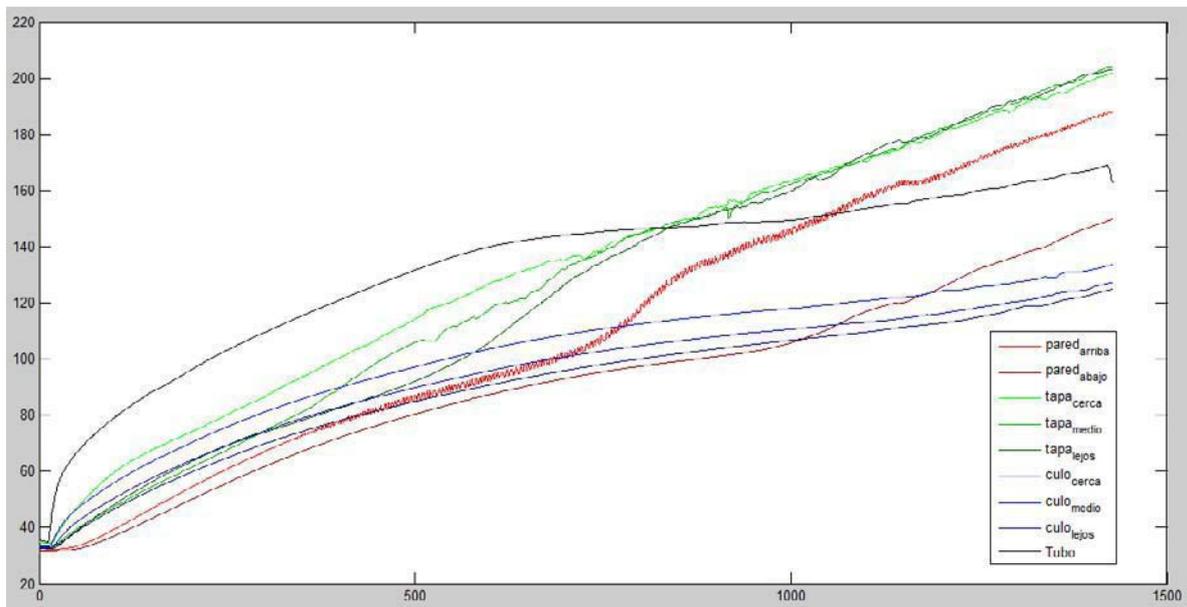


Ilustración 28 - Gráfica del calentamiento ciclo 1 Sal Quaternary

Ciclo 1 enfriamiento

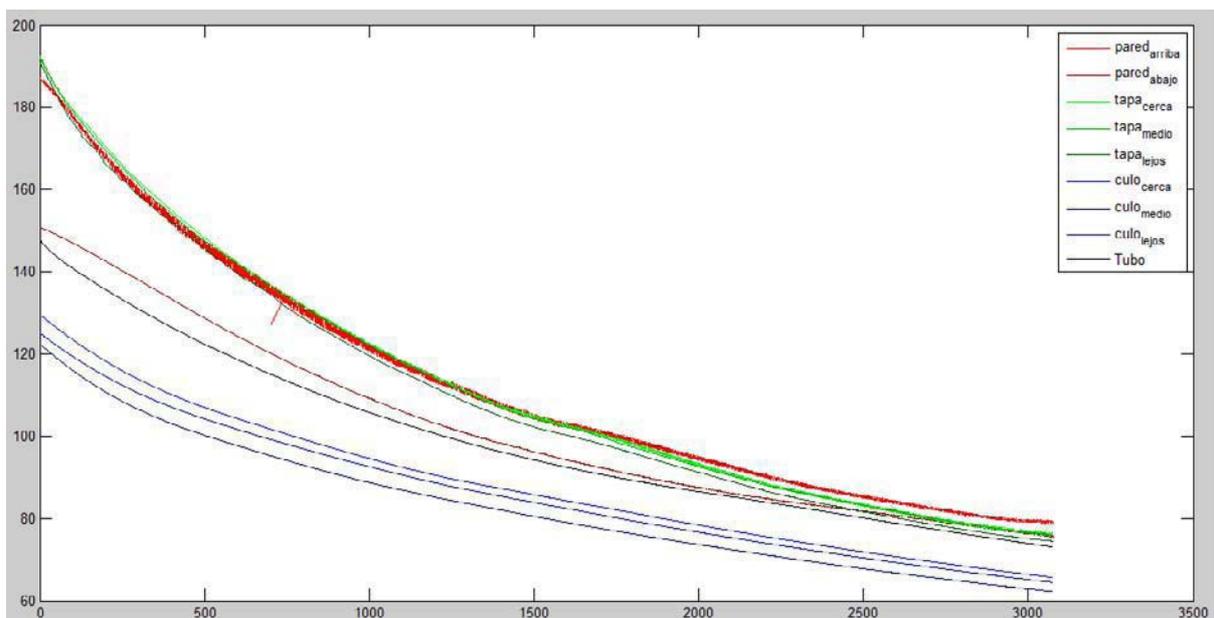


Ilustración 29 - Gráfica del enfriamiento ciclo 1 Sal Quaternary

Tiempo de calentamiento 1400s y enfriamiento de 3000s

8. Resultados Finales

Ciclo 2 calentamiento:

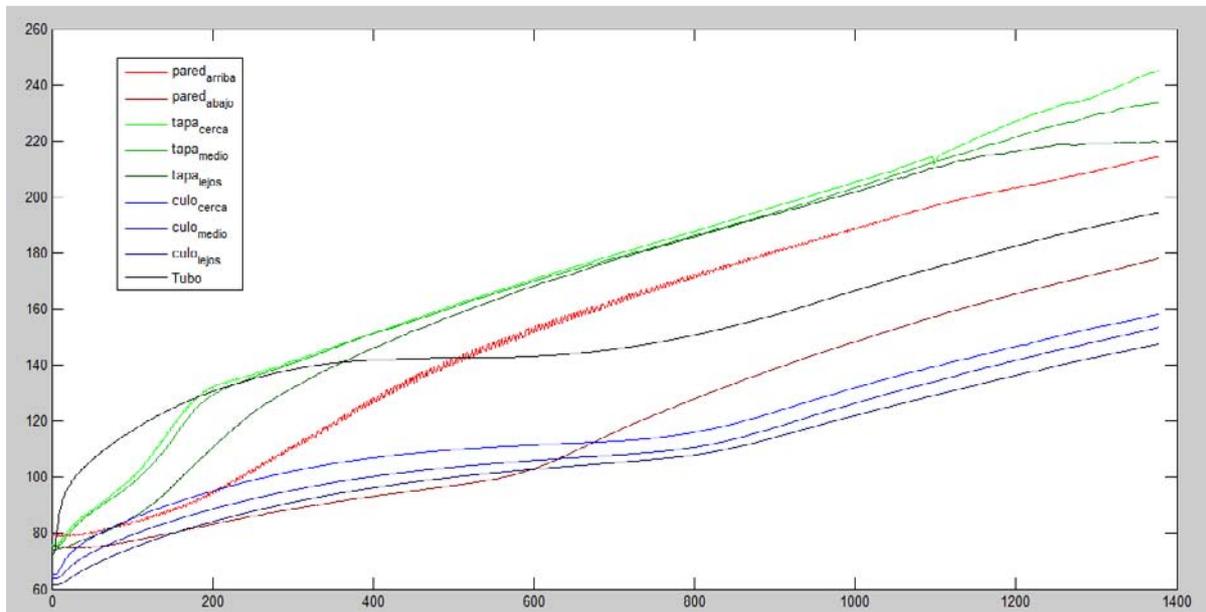


Ilustración 30 - Gráfica del calentamiento ciclo 2 Sal Quaternary

Ciclo 2 enfriamiento

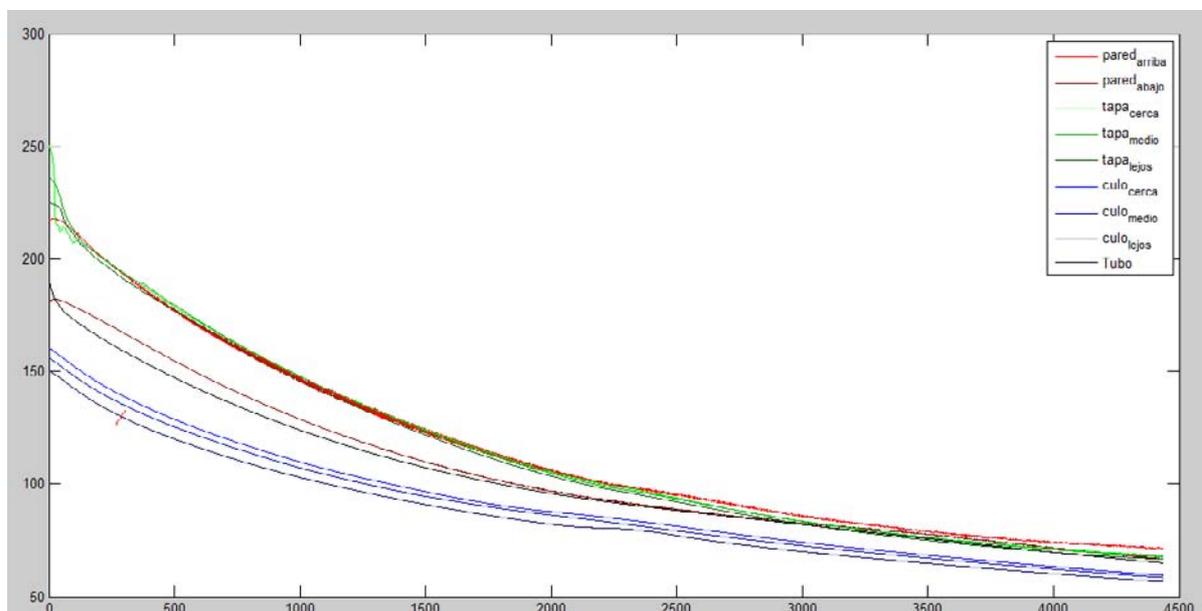


Ilustración 31 - Gráfica del enfriamiento ciclo 2 Sal Quaternary

Tiempo de calentamiento 1400s y enfriamiento de 4500s

8. Resultados Finales

Ciclo 3 calentamiento:

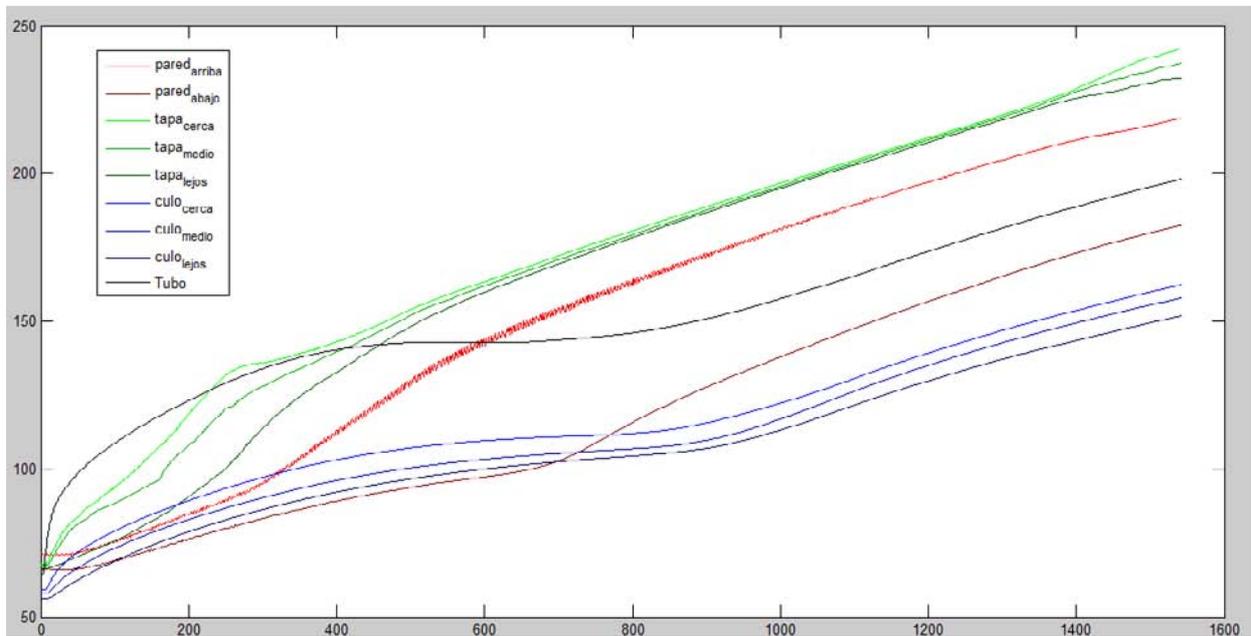


Ilustración 32 - Gráfica del calentamiento ciclo 3 Sal Quaternary

Ciclo 3 enfriamiento

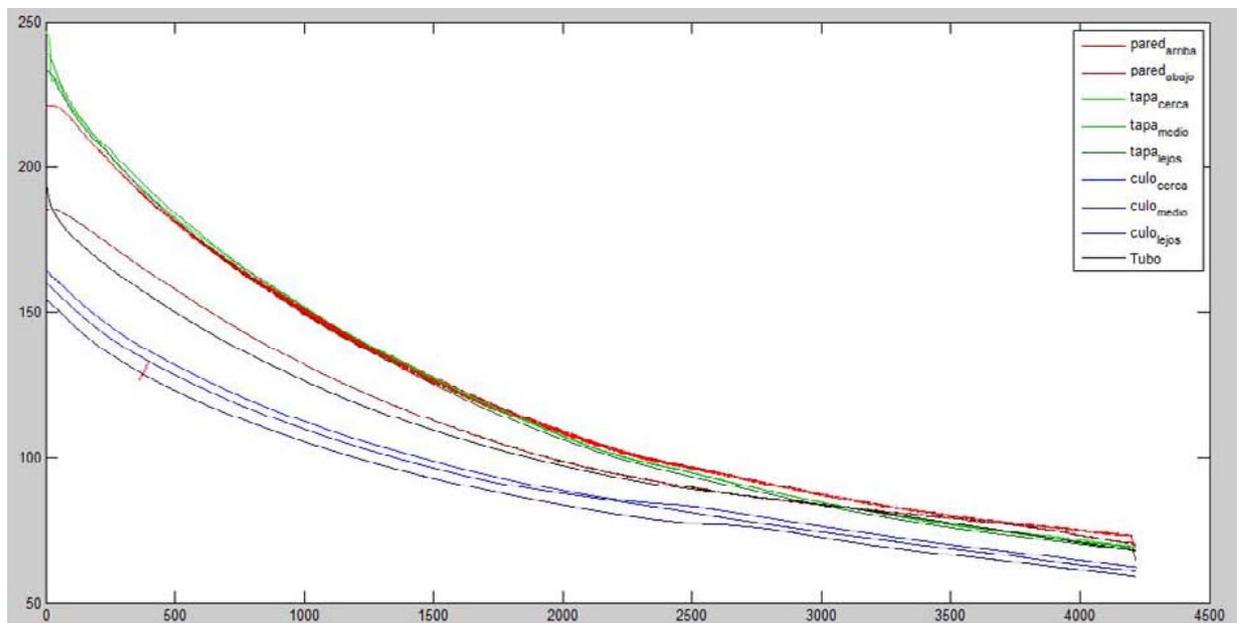


Ilustración 33 - Gráfica del enfriamiento ciclo 3 Sal Quaternary

Tiempo de calentamiento 1550s y enfriamiento de 4250s

8. Resultados Finales

Ciclo 4 calentamiento:

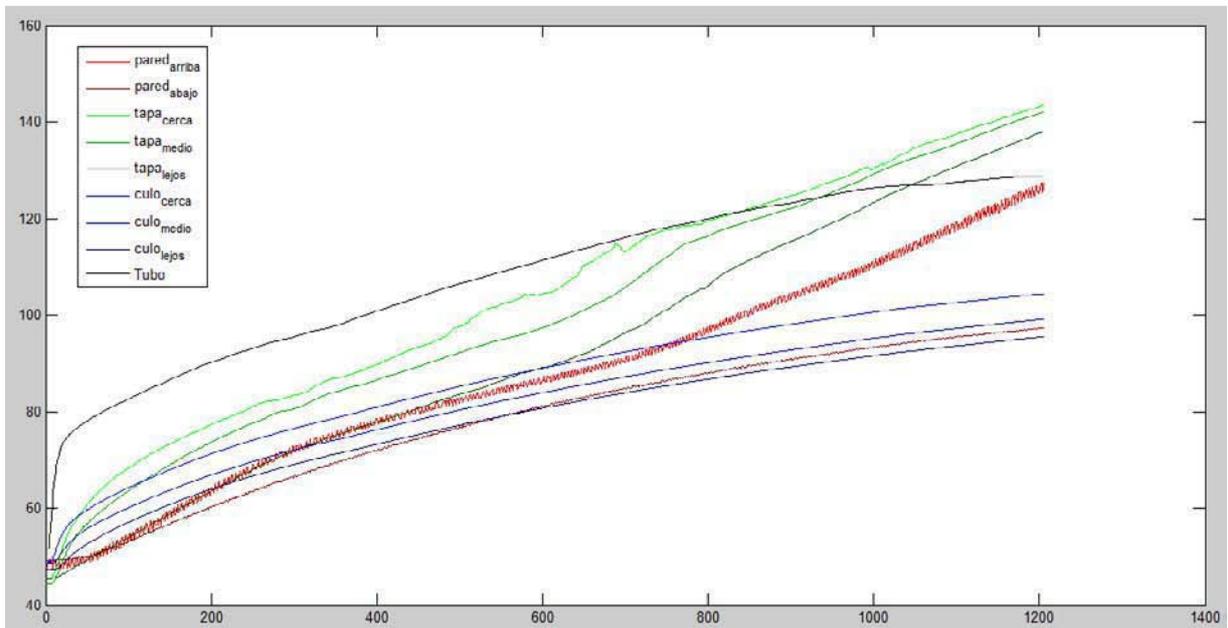


Ilustración 34 - Gráfica del calentamiento ciclo 4 Sal Quaternary

Ciclo 4 enfriamiento

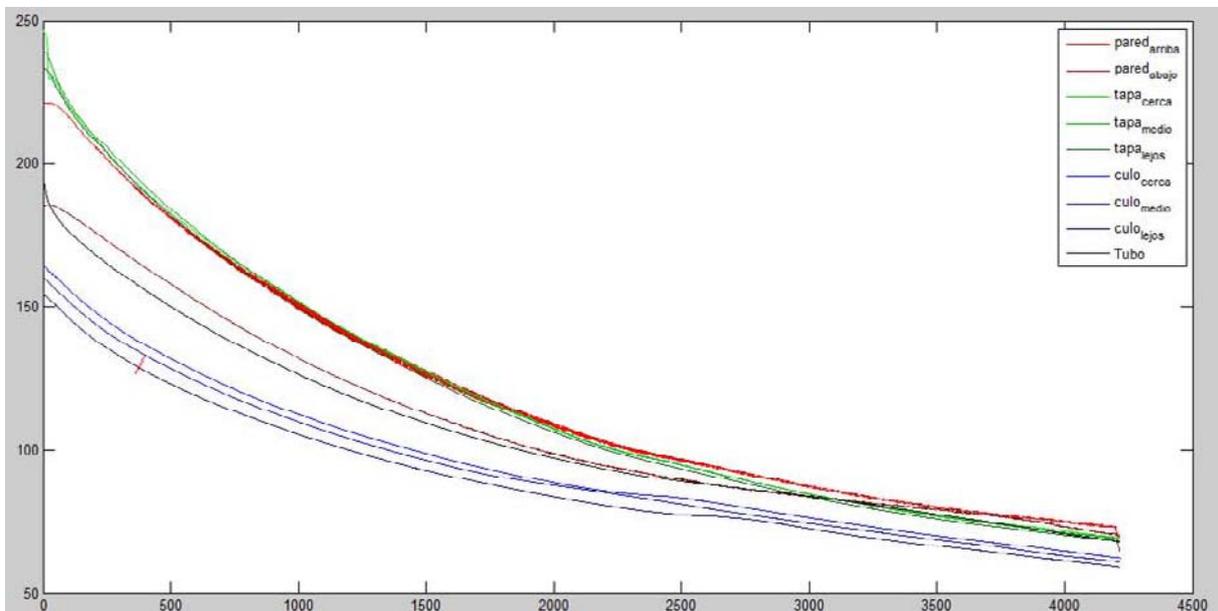


Ilustración 35 - Gráfica del enfriamiento ciclo 4 Sal Quaternary

Tiempo de calentamiento 1200s y enfriamiento de 4250s

8. Resultados Finales

8.3. Ajuste del factor corrector de la potencia eléctrica “β”

Debido a que toda la potencia eléctrica introducida en el calentador no se emplea en el calentamiento de la sal, sino que se emplea en el propio calentamiento del tubo, calentamiento de la cerámica interior, del aire,... se ha añadido un factor de corrección de la potencia “β”. Para obtener este factor se ha utilizado la medida de la primera sal ensayada (sal HITEC) a modo de calibración. Así, este factor se obtuvo para que la medida del Cp fuese igual a la suministrada por el fabricante. Posteriormente se comprobó que el factor obtenido proporciona medidas del Cp para otras sales que son consistentes con los valores proporcionados por los fabricantes. El factor corrector obtenido de esta forma fue β=0.55, y el Cp se calculó para todas las sales como

$$C_p = \frac{\beta \cdot V \cdot I}{m \cdot \left(\frac{dT}{dt_{cal}} - \frac{dT}{dt_{Enf}} \right)}$$

8.4. Evaluación del Cp:

Los Valores del Cp que se ha obtenido, siguiendo el procedimiento explicado en el anexo de cálculos (Apartado 9.4 Pág.71) , para un punto determinado de la sal y una gráfica de la variación en función de la temperatura se muestra a continuación:

Para la Sal HITEC hemos sacado el valor del Cp para 200º, para la Sal Solar el valor para 300ºC y para la sal Quaternary para una temperatura de 130ºC obteniendo:

Sales	Ensayo	Calor Especifico (J/g·K)	Error
Sal HITEC	Ensayo 1	1.5318	±0.2979 / 21%
	Ensayo 2	1.3696	±0.2664 / 21%
	Ensayo 3	1.5133	±0.2943 / 21%
Sal Solar	Ensayo 1	1.6845	±0.3192 / 21%
	Ensayo 2	1.8445	±0.3495 / 21%
Sal Quaternary	Ensayo 1	1.3976	±0.3222 / 24 %
	Ensayo 2	1.4342	±0.3306 / 24%
	Ensayo 3	1.4433	±0.3327 / 24%
	Ensayo 4	1.4342	±0.3306 / 24%

Tabla 7 - Resultados de calor específico y error para una temperatura determinada

8. Resultados Finales

Hemos aplicado el método de cálculo del C_p para un punto pero esta vez a varios puntos a diferente temperatura para poder sacar la evolución temporal del C_p (T):

Sal HITEC (Sólido):

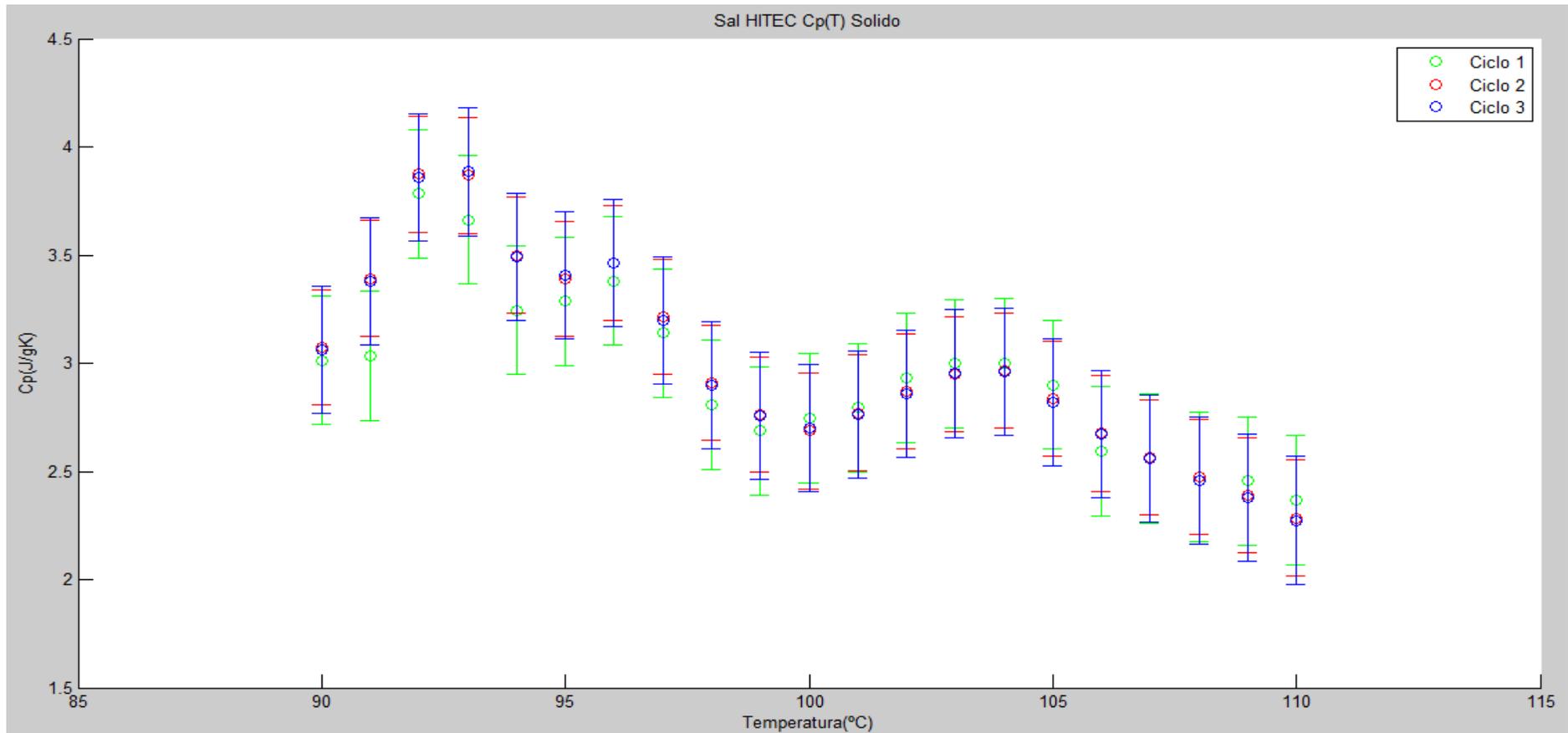


Ilustración 36 - Cp (T) Sal HITEC Solida

8. Resultados Finales

Sal HITEC (Líquido):

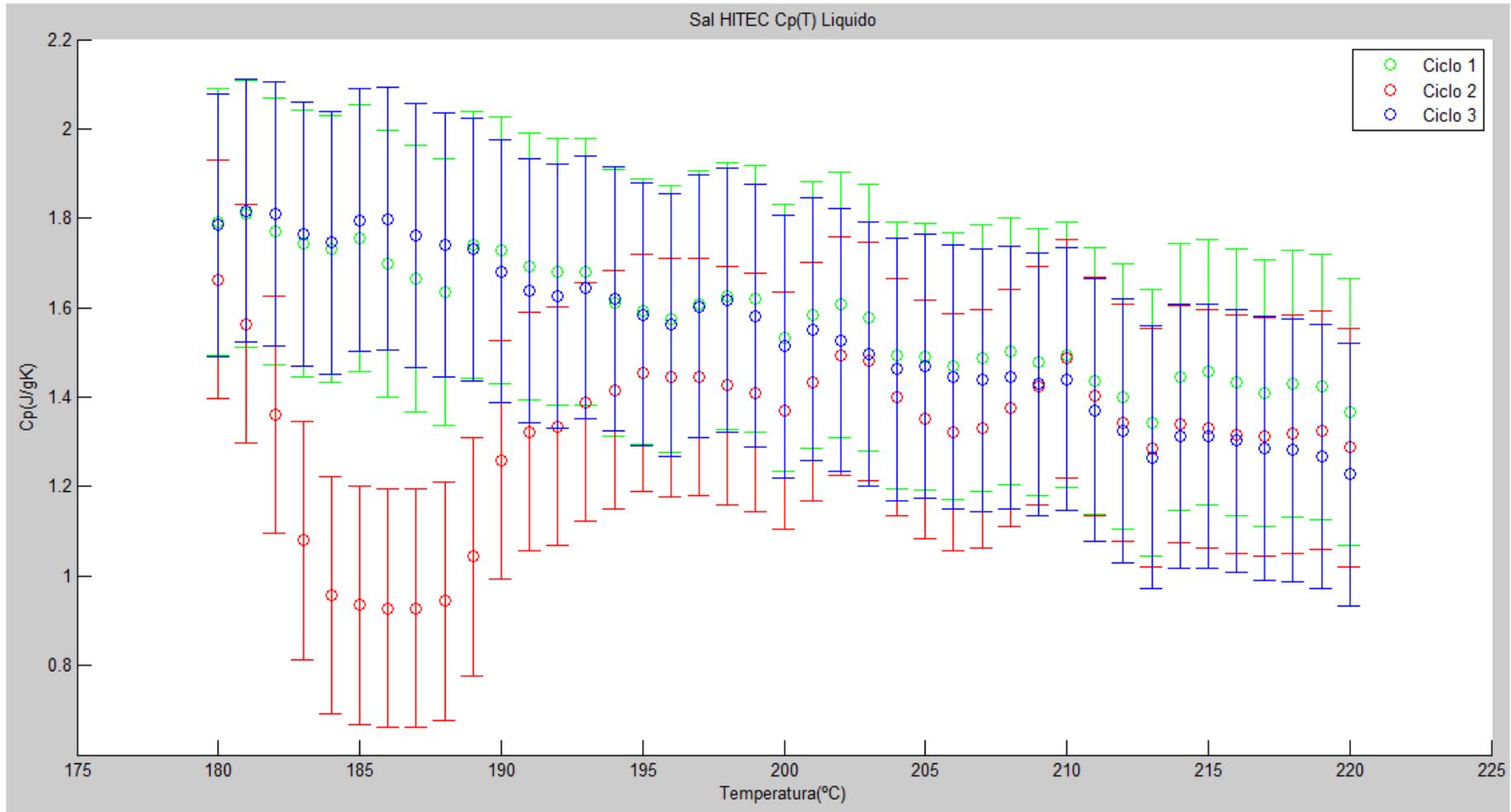


Ilustración 37 - Cp (T) Sal HITEC Liquida

8. Resultados Finales

Sal Solar (Sólido)

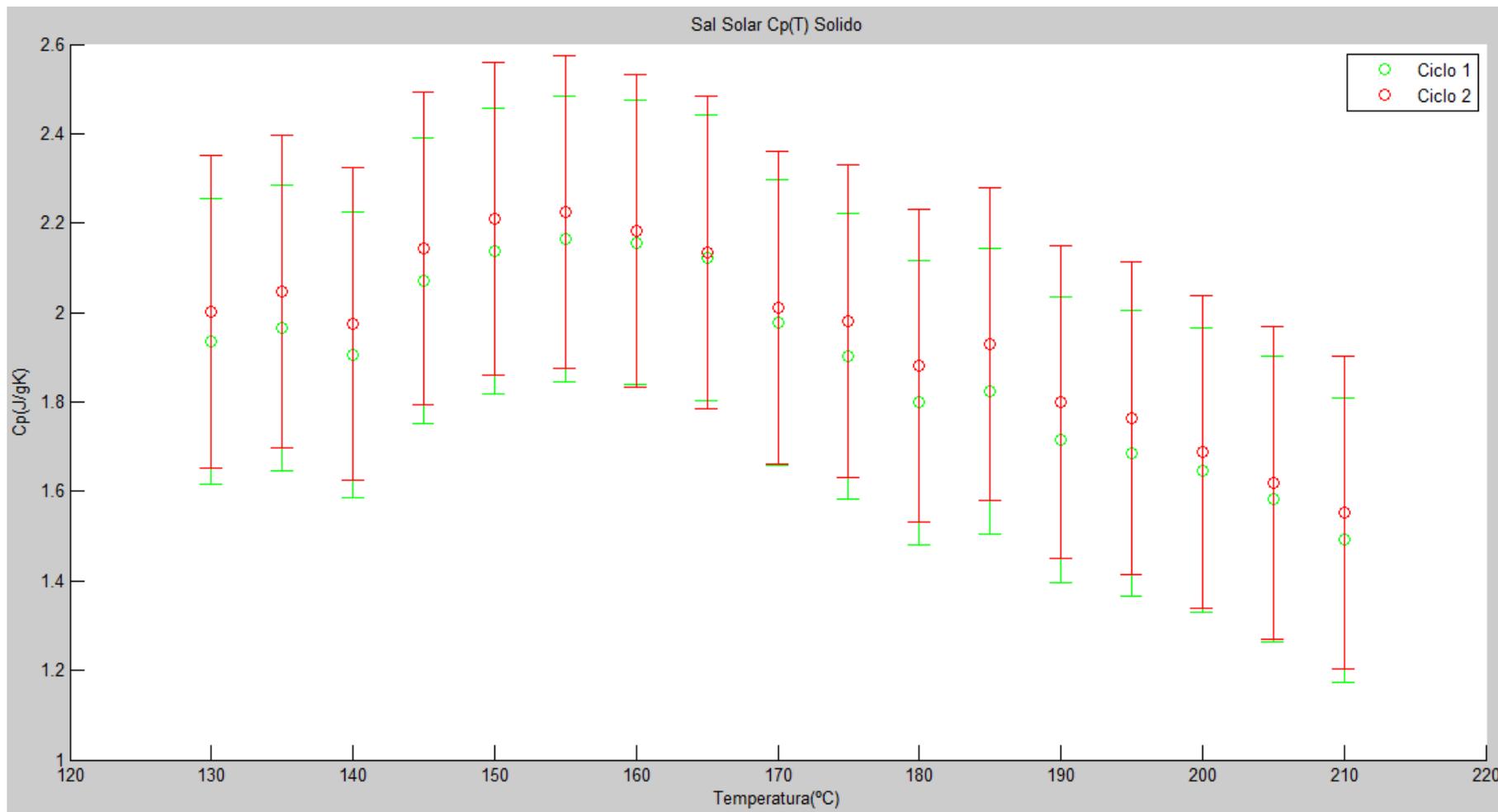


Ilustración 38 - Cp (T) Sal Solar Solida

8. Resultados Finales

Sal Solar (Líquido)

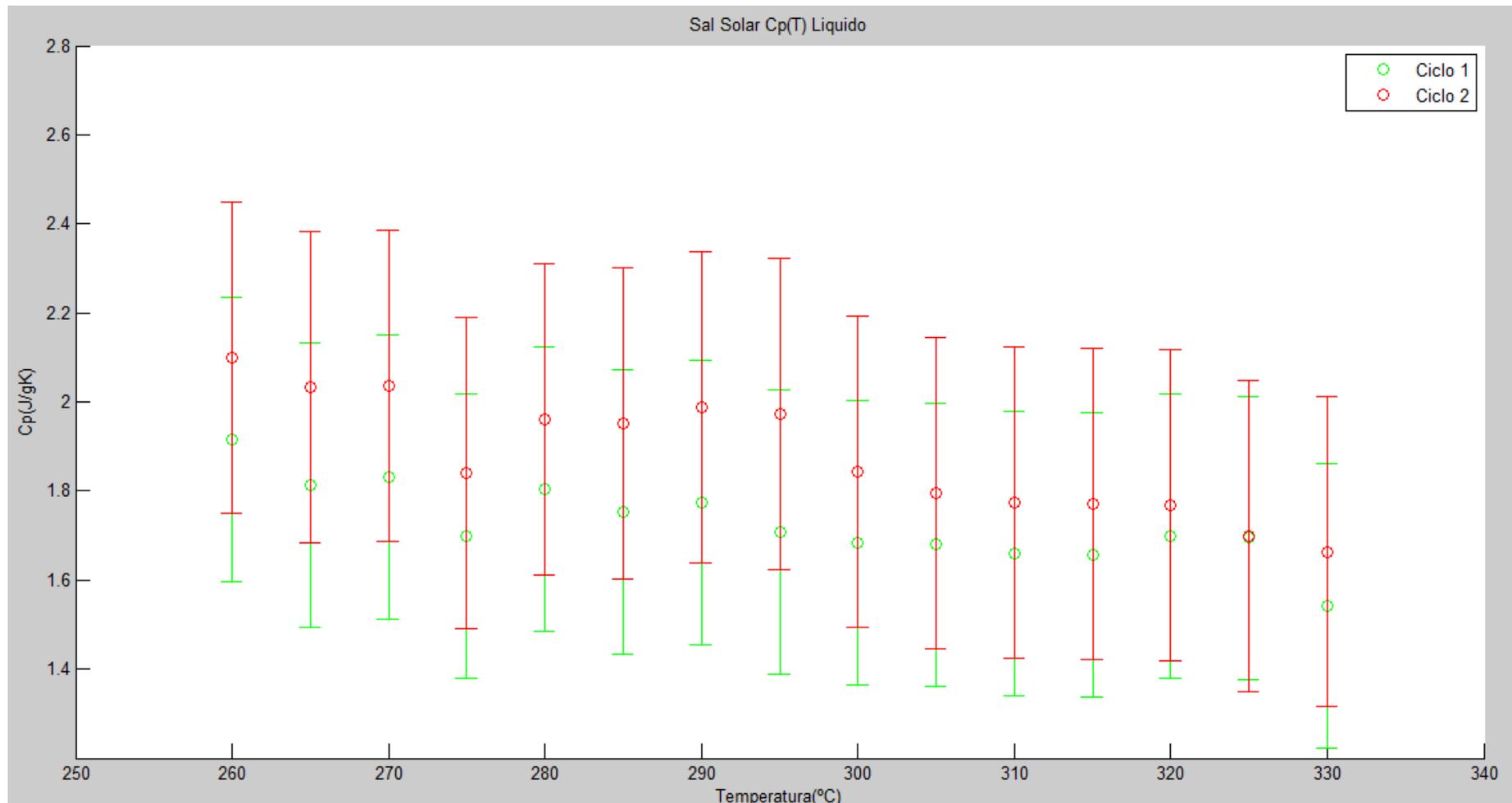


Ilustración 39 - Cp (T) Sal Solar Líquida

8. Resultados Finales

Sal Quaternary (Sólido):

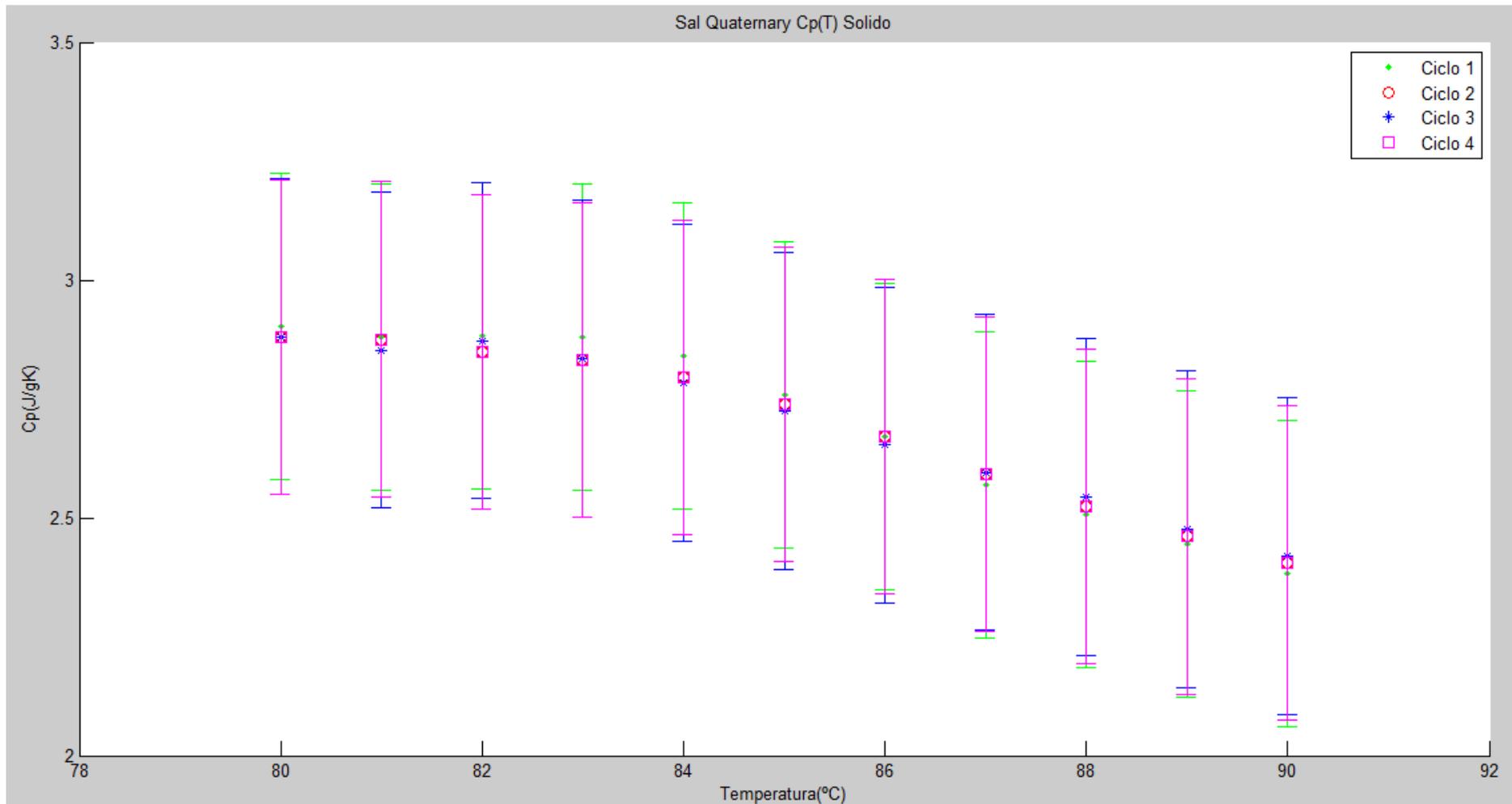


Ilustración 40 - Cp (T) Sal Quaternary Solida

8. Resultados Finales

Sal Quaternary (Líquido):

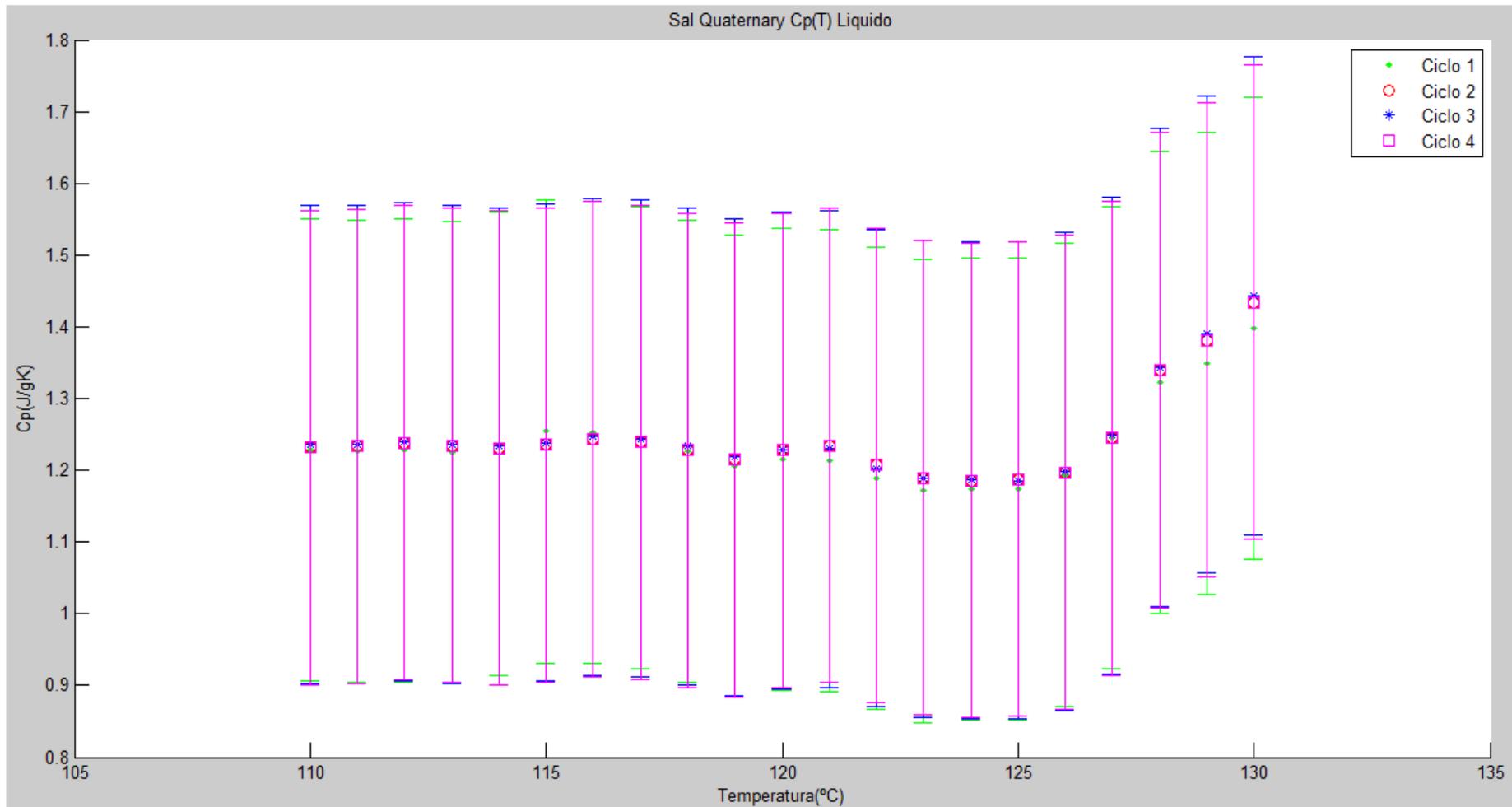


Ilustración 41 - Cp (T) Sal Quaternary Líquida

8. Resultados Finales

8.5. Evaluación del calor latente:

Los Valores del calor latente que se ha obtenido, siguiendo el procedimiento explicado en el anexo de cálculos (Apartado 9.5 Pág.74) son:

Sales	Ensayo	Calor Latente(W/g)	Error
Sal HITEC	Ensayo 1	144.47	±29.86 / 20.67%
	Ensayo 2	136.45	±28.21 / 20.67%
	Ensayo 3	128.98	±26.66 / 20.67%
Sal Solar	Ensayo 1	280.47	±58.04 / 20.70%
	Ensayo 2	261.85	±54.19 / 20.70%
Sal Quaternary	Ensayo 1	149.21	±30.90 / 20.72%
	Ensayo 2	134.25	±27.81 / 20.72%
	Ensayo 3	145.55	±30.15 / 20.72%

Tabla 8- Resultados de calor latente y error

A continuación se muestra una tabla con todos los valores de tiempo de cambio de fase que hemos obtenido gráficamente de la curva de calentamiento mirando el sensor de temperatura del tubo interior y para qué tiempo de ensayo hemos considerado el cambio de fase):

T _{cf}	Sal HITEC	Sal Solar	Sal Quaternary
E1	541s (1515-974)	919s (2462-1543)	449s (1012-563)
E2	511s (1443-932)	858s (1601-743)	404s (704-300)
E3	483s (1400-917)	-	438s (771-333)

Tabla 9 - Tiempos de cambio de fase

8. Resultados Finales

8.6. Evaluación de los diferentes puntos de medida:

Para la evaluación de cuál es el punto óptimo de medición de la temperatura para el cálculo del C_p y λ vamos a comparar el valor obtenido para la sal HITEC en los 3 ensayos realizados para los diferentes puntos de medida:

8.6.1. Medidas para el calor específico:

SAL HITEC			
Posición	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Pared Arriba	1.4979	1.4876	1.5204
Pared Abajo	1.6197	1.6363	1.6197
Tapa Cerca	1.5197	1.5612	1.5197
Tapa Medio	1.5674	1.6156	1.5674
Tapa Lejos	1.5133	1.3696	1.5133
Culo Cerca	1.9841	1.8856	1.9841
Culo Medio	2.0477	1.9072	2.0477
Culo Lejos	1.9751	1.9638	1.9751
Tubo	1.6277	1.6396	1.6277

Tabla 10 - C_p en función de la posición de medida

En la tabla anterior se muestra el valor del C_p para los 3 ensayos de la Sal HITEC en los diferentes puntos de medida que tenemos disponibles, observando estos valores podemos decir que las medidas en el culo tanto cerca, medio como lejos no serían válidas ya que dan un valor muy por encima del que estamos buscando; esto se podría deber a que la base es la parte más fría, y por varias observaciones que se han hecho durante los ensayos esa parte no llega a fundirse del todo por lo que el C_p medido en esos puntos podrían ser aun una mezcla de sólido y líquido así que esas medidas no son buenas; por lo que respecta a las demás posiciones si que podrían ser válidas ya que el valor real se encuentra dentro del rango de la medida con el error así que cualquiera podría ser aceptada, para todos los cálculos se ha empleado la posición de tapa lejos.

8. Resultados Finales

8.7. Comparativa con los resultados de un DSC comercial

A continuación se va a mostrar una comparativa de la medida de los Cp de las sales medida con el sistema propuesto frente a un DSC que disponemos en la UJI.

Sal HITEC

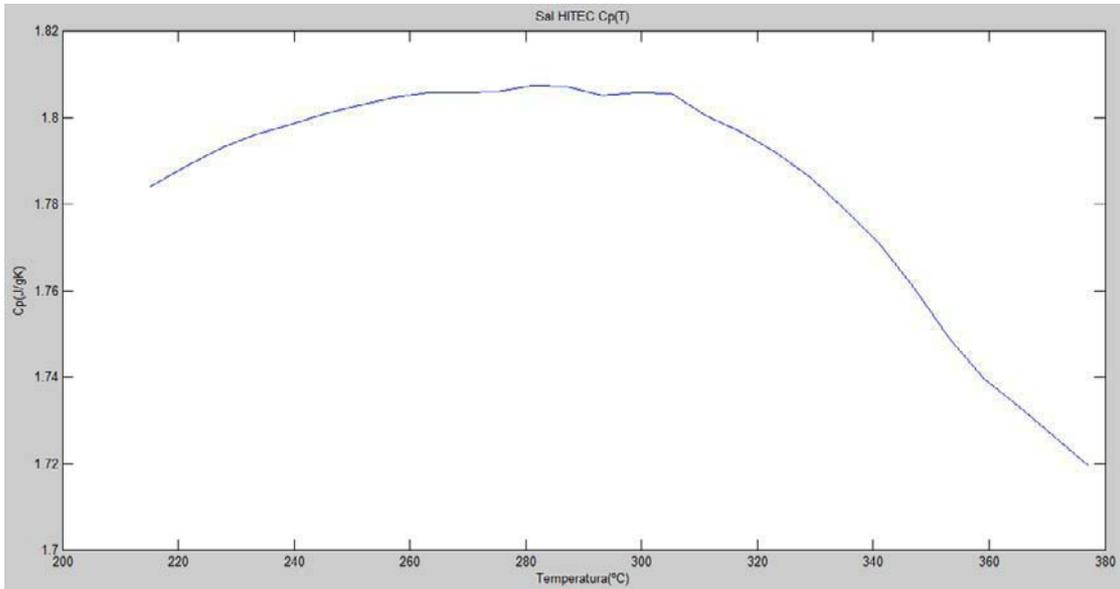


Ilustración 42 - Gráfica de Cp de la sal HITEC medida en DSC

Mirando el valor respecto al DSC a nosotros nos da un valor medio de 1.6 respecto al 1.78 que da con el DSC.

Sal Solar

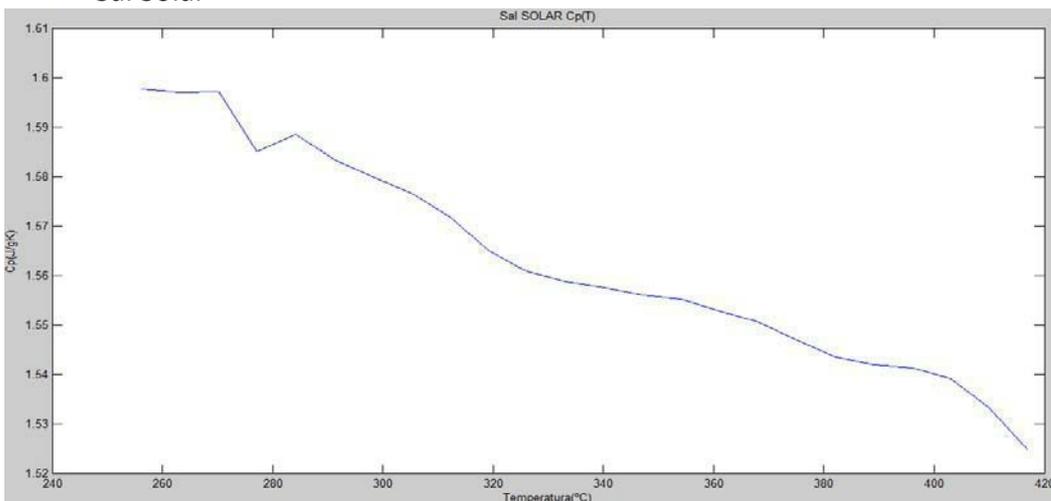


Ilustración 43 - Gráfica de Cp de la sal Solar medida en DSC

Mirando el valor respecto al DSC a nosotros nos da un valor medio de 1.8 respecto al 1.5 que da con el DSC.

8. Resultados Finales

Sal Quaternary:

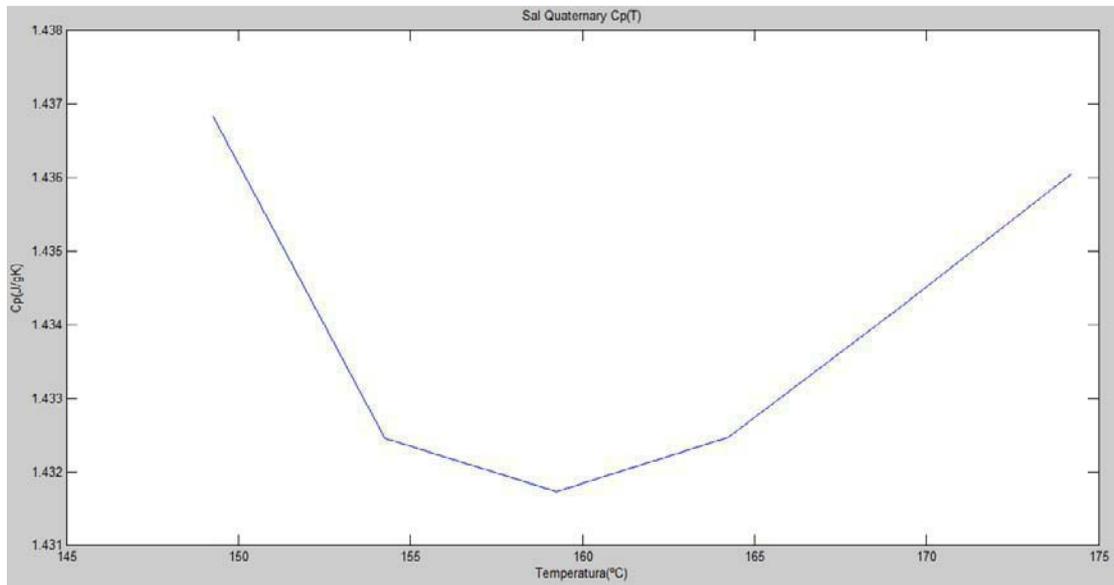


Ilustración 44 - Gráfica de Cp de la sal Quaternary medida en DSC

Mirando el valor respecto al DSC a nosotros nos da un valor medio de 1.3 respecto al 1.43 que da con el DSC.

8.8. Cálculo de la conductividad térmica

El cálculo de la conductividad térmica, con las actuales características técnicas de nuestro sistema, no es posible calcularlo; debido a que el sistema tiene que mantenerse a una temperatura estable es decir en un régimen estacionario, mientras que el sistema propuesto trabaja en un transitorio.

Esto se lograría colocando una fuente de alimentación que nos permita regular la potencia, logrando introducir una potencia inferior a la que tenemos por pérdidas para que el sistema se mantenga estable, logrando un estacionario y en esa situación si que se podría utilizar la formula de la conductividad térmica descrita en el Anexo de cálculo (Apartado 9.6 Pág.74)

$$k = \frac{\beta \cdot P \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\Delta T \cdot L}$$

Para ello se cogería la temperatura de la pared del tubo y la de uno de los termopares a diferente posición radial; con sus respectivos radios; la potencia que se le está introduciendo y la longitud de la cavidad donde está la sal (68.2mm).

Por lo que con la configuración actual del sistema propuesto si podríamos calcular la conductividad pero cambiando la fuente de alimentación.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE CALCULOS	67
9. CÁLCULOS.....	69
9.1. Cálculo del volumen contenido.....	69
9.2. Cálculo de la resistencia del calentador.....	69
9.3. Cálculo aproximado del tiempo de ensayo.....	70
9.4. Cálculo del Cp y pérdidas	70
9.5. Cálculo de calor latente.....	73
9.6. Cálculo de la conductividad térmica	74
9.7. Calculo de errores	74
9.7.1. Error de potencia.....	74
9.7.2. Error de la capacidad calorífica	75
9.7.3. Error del calor latente de fusión	77
9.7.4. Error de la conductividad térmica.....	77
9.8. Correlaciones y parámetros:	78
9.8.1. Influencia de la temperatura en las propiedades físicas.....	78
ÍNDICE DE SIMULACIONES	83
10. Simulaciones.....	85
10.1. Introducción a CFD	85
10.1.1. Discretización	85
10.1.2. Setup del problema numérico.....	86
10.1.3. Computar la solución	87
10.2. Simulación de las pérdidas de la cerámica.....	88
10.3. Simulación del comportamiento térmico de la vasija.....	92
10.4. Simulación del comportamiento dinámico de la sal líquida.	97
ÍNDICE DE PLANOS	101
11.1. Plano 1: Base	
11.2. Plano 2: Cuerpo	
11.3. Plano 3: Tapa.....	
11.4. Plano 4: Soporte Tapa	
11.5. Plano 5: Calentador y cerámica interior.....	
11.6. Plano 6: Ensamblaje	
12. ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN Y USO	105

Índice de anexos

12. Construcción y uso	107
12.1. Fabricación de las piezas	107
12.1.1. Vasija	107
12.1.2. Base	109
12.1.3. Tapa	110
12.1.4. Soporte tapa	110
12.1.5. Otros	111
12.2. Ensamblaje de las piezas	112
12.3. Conexión de los elementos y preparación previa	114
12.4. Llenado	115
ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES	119
13. PLIEGO DE CONDICIONES	121
13.1. Aparatos de medida	121
13.2. Materiales	121
13.3. Procedimientos de construcción	121
ÍNDICE DE CATÁLOGOS	125
14. CATÁLOGOS	127
14.1. Agilent 34972A	127
14.2. Cerámica MACOR	132
14.3. Cerámica DURATEC	137
14.4. Tubos Capilares	138
14.5. Otros productos:	139
14.5.1 Masilla refractaria	139
14.5.2. Termopar	139
14.5.3. Amperímetro 800-S	140
14.6. Sales	143
14.7. Calentadores de banda Watlow	145
14.8. Calentadores de cartucho Watlow	146
ÍNDICE DE PRESUPUESTO	149
15. PRESUPUESTO	151
15.1. Componentes principales	151
15.2. Material eléctrico	151
15.3. Componentes de control y medida	151
15.4. Personal	152

Índice de anexos

15.5. Otros.....	152
15.6. Comparativa frente a un DSC comercial	152
15.7. Viabilidad económica	153
ÍNDICE DE PROGRAMA DE PROCESADO	157
16. PROGRAMA DE PROCESADO.....	159
16.1. Programa de Matlab de cálculo del Cp	159
16.2. Función calculo de pendiente	167

CÁLCULO

ÍNDICE DE CALCULOS

ÍNDICE DE CALCULOS	67
9. CÁLCULOS.....	69
9.1. Cálculo del volumen contenido.....	69
9.2. Cálculo de la resistencia del calentador.....	69
9.3. Cálculo aproximado del tiempo de ensayo.....	70
9.4. Cálculo del Cp y pérdidas	70
9.5. Cálculo de calor latente.....	73
9.6. Cálculo de la conductividad térmica	74
9.7. Calculo de errores	74
9.7.1. Error de potencia.....	74
9.7.2. Error de la capacidad calorífica	75
9.7.3. Error del calor latente de fusión	77
9.7.4. Error de la conductividad térmica.....	77
9.8. Correlaciones y parámetros:	78
9.8.1. Influencia de la temperatura en las propiedades físicas.....	78

9. CÁLCULOS

9.1. Cálculo del volumen contenido

En este apartado se va a calcular las dimensiones de la vasija y la cantidad de sal que podrá albergar:

Sabemos que:

$$d = \frac{m}{V} \quad , \quad V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L$$

Donde:

$$d_{sal} = 2 \quad , \quad D = 21 \quad , \quad L = 68.2$$

Obtenemos:

$$m = d \cdot V = d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L = 42g$$

9.2. Cálculo de la resistencia del calentador

En este apartado se va a calcular resistencia eléctrica del calentador para los valores del acero Inox304:

Sabemos que:

$$R_o = \frac{\rho \cdot L}{S} \quad , \quad R_T = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_o))$$

Donde:

$$\rho = 7.2 \cdot 10^{-5} \Omega cm \quad L = 80.2 mm \quad S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = 5.3014 mm^2 \quad \alpha = 0.00094 \frac{1}{K}$$

$$T = 250^\circ C \quad T_o = 25^\circ C$$

Obtenemos la resistencia a temperatura ambiente:

$$R_o = \frac{7.2 \cdot 10^{-5} \cdot 80.2}{5.3014} = 0.01089$$

Para la resistencia a temperatura de 250°:

$$R_T = 0.01089 \cdot (1 + 0.00094 \cdot (250 - 25)) = 0.01319$$

9. Cálculos

9.3. Cálculo aproximado del tiempo de ensayo

En este apartado se va a calcular el tiempo estimado para el ensayo considerando que no tenemos pérdidas:

Sabemos que:

$$P = V \cdot I , \quad Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Donde:

$$V = 0.6 , \quad I = 40 , \quad m = 42 , \quad C_p = 1.3 , \quad \Delta T = 225$$

Haciendo el balance de energías:

$$P \cdot t = Q$$

Por lo que

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{42 \cdot 1.3 \cdot 225}{40 \cdot 0.6} = 9.7 \text{ min}$$

9.4. Cálculo del Cp y pérdidas

En este apartado se va a hacer una estimación de la capacidad calorífica de la sal teniendo en cuenta el calentamiento y enfriamiento

Haciendo el balance energético en el calentamiento tenemos:



$$Q_{Entrada} = Q_{Salida}$$

Donde:

$$Q_{Entrada} = P_{elec} = \beta \cdot V \cdot I \quad \text{y} \quad Q_{Salida} = Q_{cal} + Q_{perd} = m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt_{cal}} + Q_{perd}$$

Despejando obtenemos:

$$m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt_{cal}} = \beta \cdot V \cdot I - Q_{perd}$$

9. Cálculos

Hacemos lo mismo pero para el enfriamiento tenemos:



$$Q_{Entrada} = Q_{Salida}$$

Donde:

$$Q_{Entrada} = Q_{energ.int} = m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt_{Enf}} \quad y \quad Q_{Salida} = Q_{Perd}$$

Despejando obtenemos:

$$m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt_{Enf}} = -Q_{Perd}$$

Juntando la ecuación del calentamiento y del enfriamiento, despejamos el C_p y obtenemos:

$$C_p = \frac{\beta \cdot V \cdot I}{m \cdot \left(\frac{dT}{dt_{cal}} - \frac{dT}{dt_{Enf}} \right)}$$

Una vez obtenido el C_p con la expresión anterior podemos ir a la expresión del enfriamiento y evaluar las pérdidas del sistema:

$$Q_{Perd} = m \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt_{Enf}}$$

Para el cálculo de la pendiente $\frac{dT}{dt_{cal}}$ y $\frac{dT}{dt_{Enf}}$ tenemos dos formas de hacerlo, ajustándolo a una línea o a una exponencial, pero que si las medidas no tienen mucho ruido ambas serán buenas.

Para ello se coge un tramo de $2 \cdot n + 1$ puntos en torno a la temperatura la cual se va a calcular el C_p , en este caso $n=10$ puntos para delante y para atrás; con esto se obtienen 21 valores de temperatura (Y) y de tiempo (X) con los que se trabajara para hacer el ajuste.

9. Cálculos

Ajuste lineal:

$$y = a \cdot x + b$$

$$a = \frac{N \sum x_i y_i + \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum y_i - a \sum x_i}{N}$$

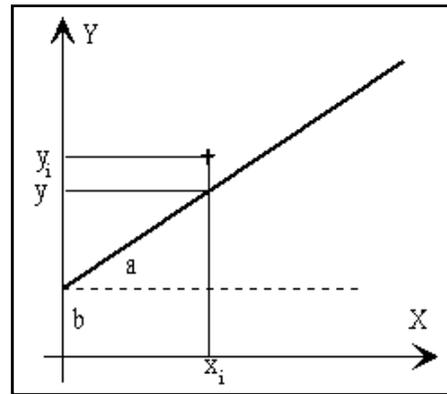


Ilustración 45 - Imagen de ajuste lineal

Donde el coeficiente “a” sería la pendiente de la curva que estábamos buscando.

Ajuste exponencial:

$$y = a + b \cdot e^{\frac{x}{c}}$$

Una vez obtenemos los valores de a, b y c con algún programa de cálculo procedemos a sacar la pendiente:

$$dt = x(n + 1) - x(n)$$

Hallamos el tiempo para el cual la temperatura pasa por T

$$t_0 = \log \frac{T - a}{b} \cdot c$$

$$T_1 = a + b \cdot e^{\frac{t_0 - \frac{dt}{2}}{c}}$$

$$T_2 = a + b \cdot e^{\frac{t_0 + \frac{dt}{2}}{c}}$$

Para hallar la pendiente:

$$p = \frac{T_2 - T_1}{dt}$$

9. Cálculos

9.5. Cálculo de calor latente

En este apartado se va a hacer una estimación del calor latente de cambio de fase, para ello tenemos que saber cuánto tiempo tarda el material en hacer el cambio de fase al completo, el cual se puede observar en la gráfica de calentamiento:

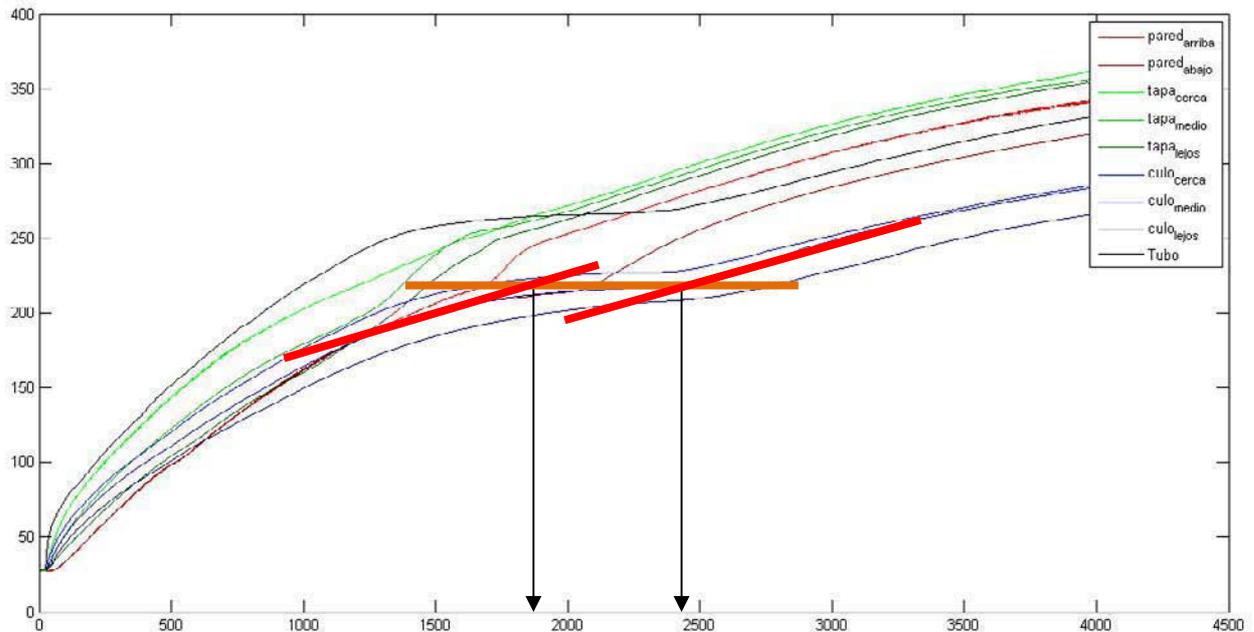


Ilustración 46 - Gráfica de calentamiento, sal solar

Por ejemplo para este caso el tiempo de cambio de fase son 500 s.

Para calcular ese tiempo se tiene dos opciones:

Tomar gráficamente el punto aproximado de inicio y fin de cambio de fase (Flechas).

O coger una serie de puntos antes del cambio de fase para sacar la una recta, se hace lo mismo pero en la zona donde se aplanan las curvas para sacar otra recta y por último lo mismo pero en la zona después del cambio de fase, para sacar estas rectas se hace una regresión lineal como se explica en la página anterior.

Una vez se tiene las tres rectas se saca el punto de intersección de las rectas obteniendo así un valor aproximado del tiempo de comienzo de cambio de fase y el de fin.

Así que para calcular el calor latente se puede hacer mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{\beta \cdot P \cdot t_{CF}}{m} \text{ con } P[W], t[s], m[g], \left[\frac{J}{g}\right]$$

9. Cálculos

9.6. Cálculo de la conductividad térmica

Para el cálculo de la conductividad térmica se parte de la fórmula de

$$P = \frac{\Delta T}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k \cdot L}}$$

Despejando de la fórmula la conductividad obtenemos:

$$k = \frac{P \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\Delta T \cdot L}$$

Donde para un estado estacionario con una determinada potencia se puede calcular el valor de la conductividad térmica.

9.7. Cálculo de errores

Para el cálculo de todos los siguientes errores se ha hecho la suposición de que el error en la medida del tiempo es nulo, para facilitar un poco los cálculos.

9.7.1. Error de potencia

En este apartado se pretende cuantificar la incertidumbre asociada a los resultados como consecuencia de los errores en las mediciones:

Se define la potencia como:

$$P = V \cdot I$$

La incertidumbre asociada a la potencia eléctrica suministrada se obtiene a partir de la relación siguiente:

$$\varepsilon P = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial V} \varepsilon V\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I} \varepsilon I\right)^2}$$

Siendo

$$\frac{\partial P}{\partial V} = I \quad , \quad \frac{\partial P}{\partial I} = V \quad , \quad \varepsilon V = 0.002 \quad \text{y} \quad \varepsilon I = 8$$

Obtenemos:

$$\varepsilon P = \pm \sqrt{(I \cdot 0.002)^2 + (V \cdot 8)^2}$$

9. Cálculos

Para nuestro caso donde:

$$I=42A \quad V=0.7v$$

$$\varepsilon P = \pm \sqrt{(42 \cdot 0.002)^2 + (0.7 \cdot 8)^2} = \pm 5.6$$

$$P = 33.6 \pm 5.6 \quad \varepsilon(\%) = \frac{39.2}{33.6} = 16.67\%$$

Se va a analizar la contribución de cada variable al error de la medida:

$$V \rightarrow \frac{(42 \cdot 0.002)^2}{5.6^2} \cdot 100 = 0.02\%$$

$$I \rightarrow \frac{(0.7 \cdot 8)^2}{5.6^2} \cdot 100 = 99.9\%$$

Como se puede observar prácticamente todo el error de la medida de la potencia viene introducido por la medida de la intensidad.

9.7.2. Error de la capacidad calorífica

Se define la capacidad calorífica como:

$$C_p = \frac{\beta \cdot V \cdot I}{m \cdot \left(\frac{dT}{dt_{cal}} - \frac{dT}{dt_{enf}} \right)}$$

Donde:

$$\alpha_{cal} = \frac{dT}{dt_{cal}} \quad , \quad \alpha_{enf} = \frac{\partial C_p}{\partial \alpha_{enf}}$$

La incertidumbre asociada a la capacidad calorífica se obtiene a partir de la relación siguiente:

$$\varepsilon C_p = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial C_p}{\partial P} \varepsilon P \right)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial m} \varepsilon m \right)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial \alpha_{cal}} \varepsilon \alpha_{cal} \right)^2 + \left(\frac{\partial C_p}{\partial \alpha_{enf}} \varepsilon \alpha_{enf} \right)^2}$$

Siendo

$$\frac{\partial C_p}{\partial P} = \frac{\beta}{m \cdot (\alpha_{cal} - \alpha_{enf})} \quad , \quad \frac{\partial C_p}{\partial m} = - \frac{\beta \cdot P}{m^2 \cdot (\alpha_{cal} - \alpha_{enf})} \quad ,$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial \alpha_{cal}} = - \frac{\beta \cdot P}{\alpha_{cal}^2 \cdot m} \quad , \quad \frac{\partial C_p}{\partial \alpha_{enf}} = - \frac{\beta \cdot P}{\alpha_{enf}^2 \cdot m}$$

$$\varepsilon P = 5.6 \quad , \quad \varepsilon m = 1 \quad , \quad \varepsilon \alpha_{enf} = 2E - 5 \quad , \quad \varepsilon \alpha_{cal} = 2E - 5$$

9. Cálculos

Obtenemos:

$$\varepsilon C_p = \pm \sqrt{\left(\frac{\beta}{m \cdot (\alpha_{cal} - \alpha_{enf})} 0.12\right)^2 + \left(-\frac{\beta \cdot P}{m^2 \cdot (\alpha_{cal} - \alpha_{enf})} 1\right)^2 + \left(-\frac{\beta \cdot P}{\alpha_{cal}^2 \cdot m} 2E - 5\right)^2 + \left(-\frac{\beta \cdot P}{\alpha_{enf}^2 \cdot m} \cdot 2E - 5\right)^2}$$

Para nuestro caso:

Evaluando los términos obtenemos:

$$\varepsilon C_p = \pm \sqrt{((0.053 \cdot 5.6)^2 + (-0.0273 \cdot 1)^2 + (-31.042 \cdot 2E - 5)^2 + (-37.868 \cdot 2E - 5)^2}$$

$$\varepsilon C_p = \pm 0.2979$$

$$C_p = 1.5318 \pm 0.2979 \quad \varepsilon(\%) = \frac{1.8298}{1.5318} = 19.45\%$$

Se va a analizar la contribución de cada variable al error de la medida:

$$P \rightarrow \frac{(0.053 \cdot 5.6)^2}{0.2979^2} \cdot 100 = 99.15\%$$

$$m \rightarrow \frac{(-0.0273 \cdot 1)^2}{0.2979^2} \cdot 100 = 0.8412\%$$

$$\alpha_{cal} \rightarrow \frac{(-31.042 \cdot 2E - 5)^2}{0.2979^2} \cdot 100 = 4.34E - 4 \%$$

$$\alpha_{enf} \rightarrow \frac{(-37.868 \cdot 2E - 5)^2}{0.2979^2} \cdot 100 = 6.46E - 4 \%$$

Como vemos la mayor fuente de error en la medida del Cp viene introducida por el término de la potencia, esto se debe a que para la medición de la intensidad para sacar la potencia se está empleando un instrumento de medida con un rango de medida muy superior al que se necesita ya que la pinza está diseñada para una intensidad nominal de 800A y se está trabajando con 40; y el error va en función de esa intensidad nominal, se va a hacer una pequeña cuenta de cómo quedaría el error empleando un instrumento de medida acorde con nuestra medida, en este caso se va a comprobar cómo cogiendo la pinza más pequeña que tiene ese fabricante(aun quedándonos grande) el error se reduciría considerablemente:

$$\varepsilon I = 2 \rightarrow \varepsilon P = \pm \sqrt{(42 \cdot 0.002)^2 + (0.7 \cdot 2)^2} = \pm 1.40$$

$$\varepsilon C_p = 0.079 \rightarrow \varepsilon(\%) = \frac{1.8298}{1.5318} = 5.15\%$$

9. Cálculos

9.7.3. Error del calor latente de fusión

Se define el calor latente como:

$$\lambda = \frac{\beta \cdot P \cdot t_{CF}}{m}$$

La incertidumbre asociada al calor latente se obtiene a partir de la relación siguiente:

$$\varepsilon\lambda = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial P} \varepsilon P\right)^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial m} \varepsilon m\right)^2}$$

Donde:

$$\frac{\partial\lambda}{\partial P} = \frac{\beta \cdot t_{CF}}{m}, \quad \frac{\partial\lambda}{\partial m} = -\frac{\beta \cdot P \cdot t_{CF}}{m^2}, \quad \varepsilon P = 5.6, \quad \varepsilon m = 1$$

Obtenemos:

$$\varepsilon\lambda = \pm \sqrt{\left(\frac{\beta \cdot t_{CF}}{m} 5.6\right)^2 + \left(-\frac{\beta \cdot P \cdot t_{CF}}{m^2} 1\right)^2}$$

9.7.4. Error de la conductividad térmica

Para el cálculo de este error se va a suponer que el error de las dimensiones es despreciable, para facilitar los cálculos

Se define la conductividad térmica como:

$$k = \frac{\beta \cdot P \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\Delta T \cdot L}$$

La incertidumbre asociada a la conductividad térmica se obtiene a partir de la relación siguiente:

$$\varepsilon k = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial k}{\partial P} \varepsilon P\right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial \Delta T} \varepsilon \Delta T\right)^2}$$

Donde:

$$\frac{\partial k}{\partial P} = \frac{\beta \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\Delta T \cdot L}, \quad \frac{\partial k}{\partial \Delta T} = -\frac{\beta \cdot P \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\Delta T^2 \cdot L}, \quad \varepsilon P = 5.6, \quad \varepsilon \Delta T = 2 \cdot 0.01$$

9. Cálculos

Obtenemos:

$$\varepsilon k = \pm \sqrt{\left(\frac{\beta \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\Delta T \cdot L} \cdot 0.12\right)^2 + \left(-\frac{\beta \cdot P \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{\Delta T^2 \cdot L} \cdot 2 \cdot 0.01\right)^2}$$

9.8. Correlaciones y parámetros:

9.8.1. Influencia de la temperatura en las propiedades físicas

Prácticamente la totalidad de las propiedades físicas de los materiales dependen de la presión y de la temperatura a la que se encuentran.

En nuestro caso la influencia de la presión no es representativa ya que los ensayos se van a realizar a presión atmosférica, sin embargo la influencia de la temperatura será representativa ya que vamos a trabajar en un rango de temperatura muy grande (25°C-350°C) y las propiedades de la cerámica, acero inox. y la sal variaran significativamente.

Las correlaciones sobre la variación de las propiedades térmicas y físicas de las sales se encuentran en el Anexo Catálogos (Apartado 14.6 Pág.143)

En lo referente a la cerámica para la simulación nos interesa conocer cómo evolucionan temporalmente su conductividad térmica y calor específico.

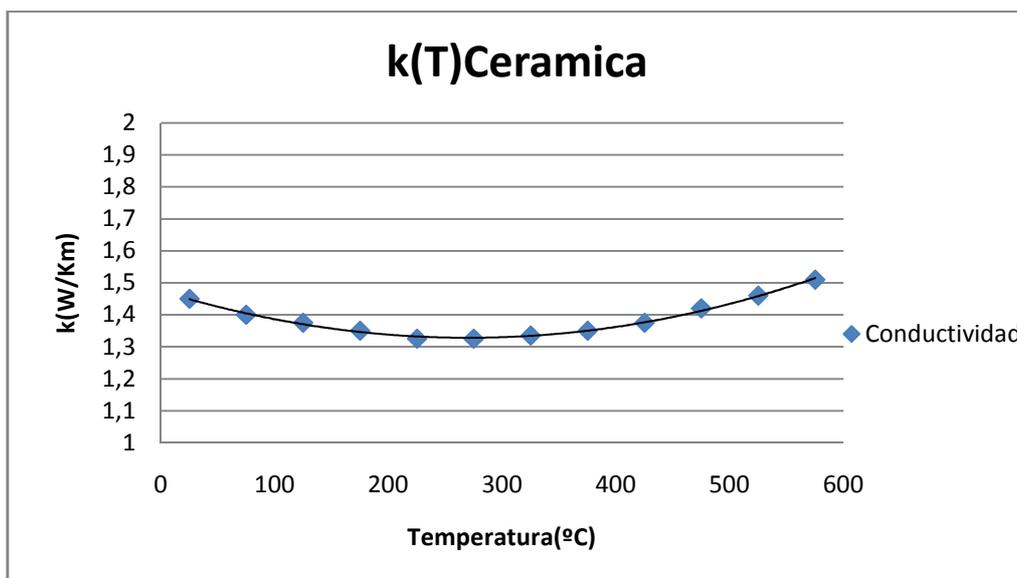


Ilustración 47 - Correlación k(T) de la cerámica

$$k(T) = 2 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 0.001 \cdot T + 1.474$$

9. Cálculos

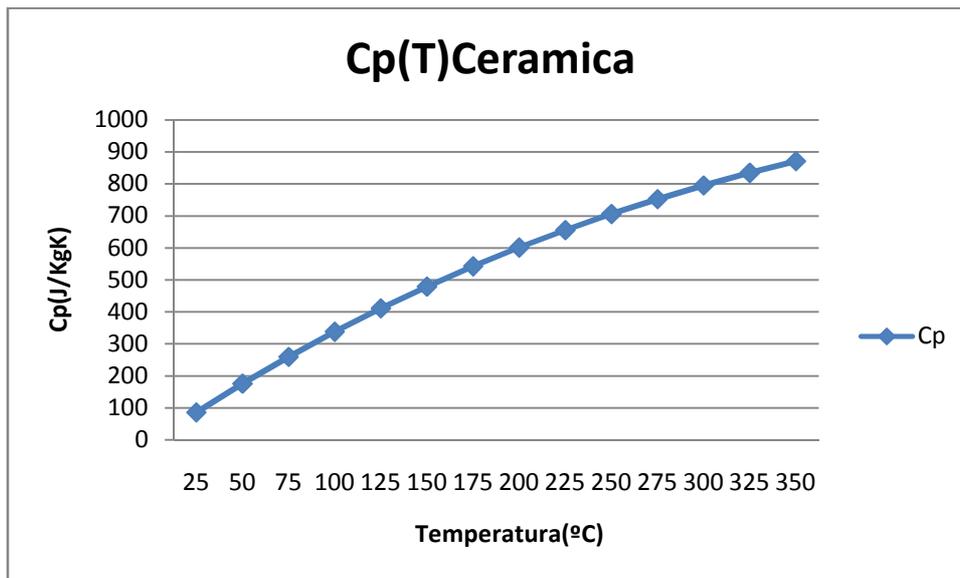


Ilustración 48 - Correlación $C_p(T)$ de la cerámica

$$C_p(T) = 2.47 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 - 0.00495 \cdot T^2 + 3.9474 \cdot T - 10.305$$

Por lo que respecta al tubo de Inox la variación más significativa es la variación de la resistencia eléctrica en función de la temperatura.

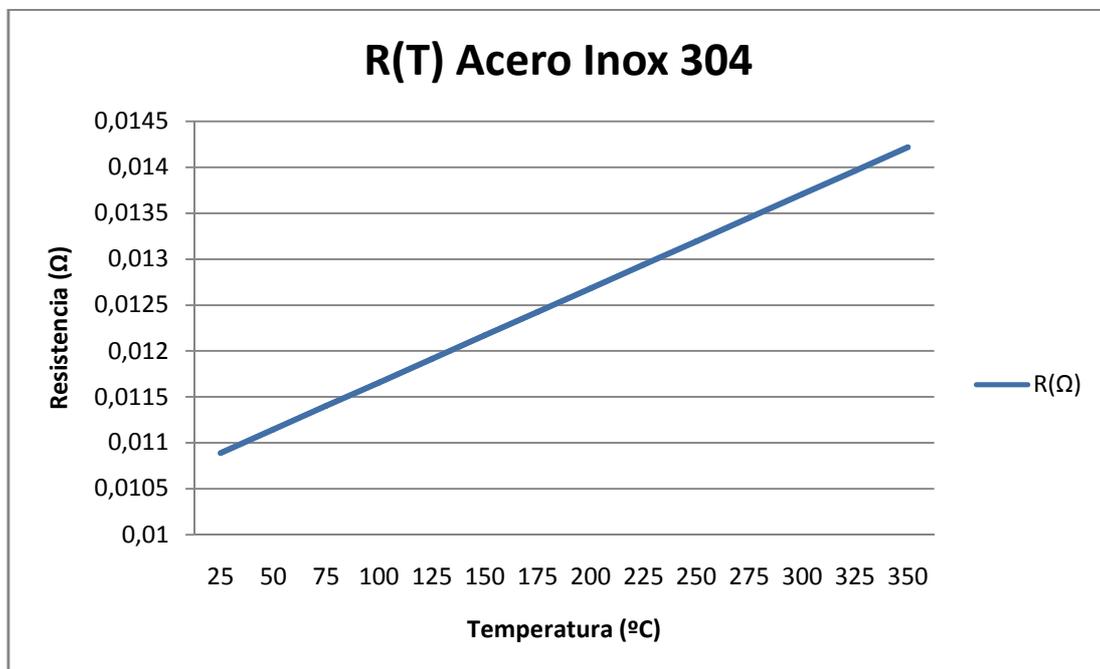


Ilustración 49 - Correlación de $R(T)$ del Acero inox 304

$$R(T) = 0.01089 \cdot (1 + 0.00094 \cdot (T - 25))$$

SIMULACIONES

ÍNDICE DE SIMULACIONES

ÍNDICE DE SIMULACIONES	83
10. Simulaciones.....	85
10.1. Introducción a CFD	85
10.1.1. Discretización	85
10.1.2. Setup del problema numérico.....	86
10.1.3. Computar la solución	87
10.2. Simulación de las pérdidas de la cerámica.....	88
10.3. Simulación del comportamiento térmico de la vasija.....	92
10.4. Simulación del comportamiento dinámico de la sal líquida.	97

10. Simulaciones

Para conocer el comportamiento térmico y la dinámica de tanto la sal en sólido como el líquido y la cerámica, se ha realizado una serie de simulaciones mediante CFD (Computational Fluid Dynamics).

A continuación se explica brevemente la metodología CFD, los pasos seguidos en la simulación y los resultados de la misma.

10.1. Introducción a CFD

La dinámica de fluidos computacional es la ciencia que estudia el flujo de un fluido y predice la transferencia de masa, energía y movimiento, resolviendo las ecuaciones matemáticas que gobiernan estos procesos mediante el uso de métodos numéricos.

El análisis comienza con un modelo matemático de un problema físico. Las ecuaciones de conservación de la masa, momento y energía deberán cumplirse en la región de estudio. Las propiedades del fluido son modelizadas empíricamente, aunque se deberán realizar simplificaciones para conseguir que el modelo sea estudiado, por ejemplo, régimen transitorio, viscosidad cero, bidimensional, fluido incompresible,...

10.1.1. Discretización

El elemento a analizar es dividido en un número finito de volúmenes o celdas. La discretización del dominio es el llamado "mallado" y se considera como una de las partes más importantes en la simulación CFD ya que se debe conseguir que los resultados sean independientes de la malla.

Las ecuaciones de conservación de la masa, momento, energía,... son discretizadas, pasando a ser ecuaciones algebraicas, que son fácilmente tratadas por el ordenador. La solución es post-procesada para hallar las variables que nos interesan, por ejemplo: velocidad del flujo, temperatura, fuerza,... Todas las ecuaciones deberán ser resueltas para obtener el campo de flujo.

10. Simulaciones

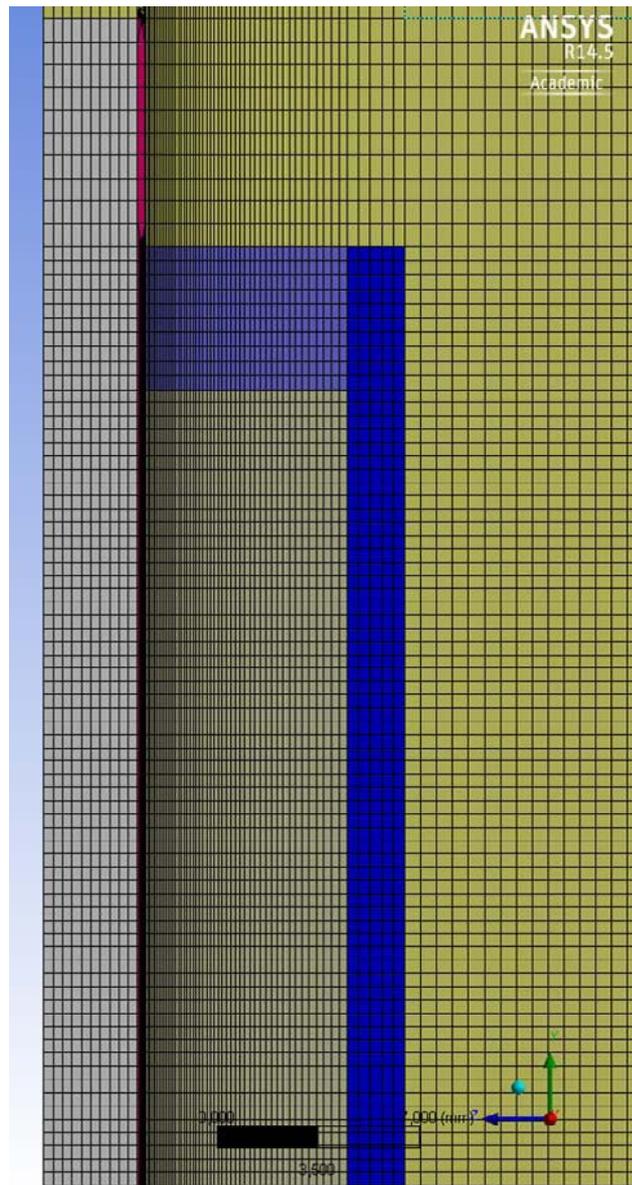


Ilustración 50 - Mallado de parte de la vasija con el entorno

10.1.2. Setup del problema numérico

Para el problema elegido, se necesitará tener en cuenta:

- Selección de los modelos físicos apropiados.
- Turbulencia, combustión, multifase,...
- Definir las propiedades de los materiales en función de la temperatura, ya sean fluidos, sólidos.
- Fijar las condiciones de contorno en todas las zonas que se necesite, ya sean muros, interfases,...
- Fijar las condiciones iniciales, por ejemplo: temperatura, velocidad,...
- Definir los controles de resolución, como son los residuos mínimos, el número de iteraciones,...

10. Simulaciones

10.1.3. Computar la solución

Las ecuaciones de conservación discretizadas son resueltas iterativamente. Normalmente hay un número mínimo de iteraciones que son necesarias para que la solución converja con valores residuales bajos que dependerá de la complejidad del modelo:

La convergencia se alcanza cuando:

- Los cambios en las variables de salida son inapreciables entre una iteración y la siguiente (esto lo observamos en la monitorización de los residuales).
- Todas las propiedades de la conservación son alcanzadas.

La precisión de una solución convergida depende de:

- La selección de los modelos físicos apropiados y su propia precisión.
- El mallado y si la solución es independiente del mismo.
- Setup anteriormente comentado.

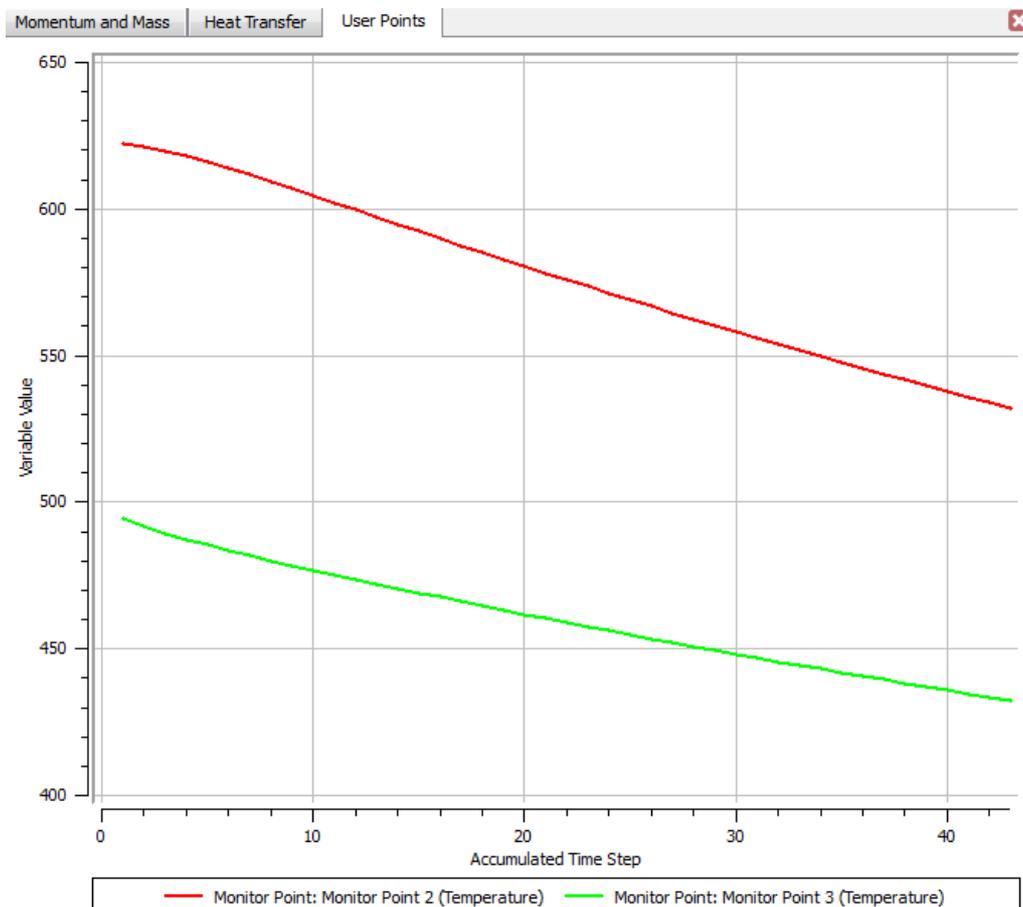


Ilustración 51 - Monitorización de las variables de control

10. Simulaciones

10.2. Simulación de las pérdidas de la cerámica

En primer lugar para hacer una estimación de las pérdidas que tiene la cerámica empleada, para posteriormente ajustar los parámetros obtenidos de esta simulación en la simulación de la vasija, se ha realizado una simulación con ANSYS que contrastaremos con un experimento.

Este consiste en coger un bloque de la cerámica empleada ($\varnothing 10\text{mm} \times 10\text{mm}$) con un agujero en el centro para poder situar un termopar, con esto sabremos la temperatura del bloque, dicho bloque lo calentáramos hasta que llegue a una temperatura estable para posteriormente dejarlo enfriar al aire.

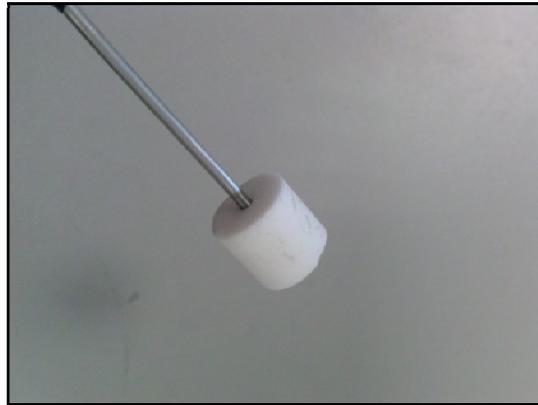


Ilustración 52 - Imagen de la cerámica empleada en el ensayo

El bloque de cerámica para representar en el ANSYS hemos tomado solo una porción “quesito” ya que al ser un cuerpo con simetría radial, al programa así le resulta más fácil operar por lo que son menos iteraciones, también se ha simulado el aire ambiente para que el mismo programa se calcule como trasmite el calor al aire y podamos observar como ocurre este fenómeno; por lo que el bloque de cerámica con el mallado quedaría:

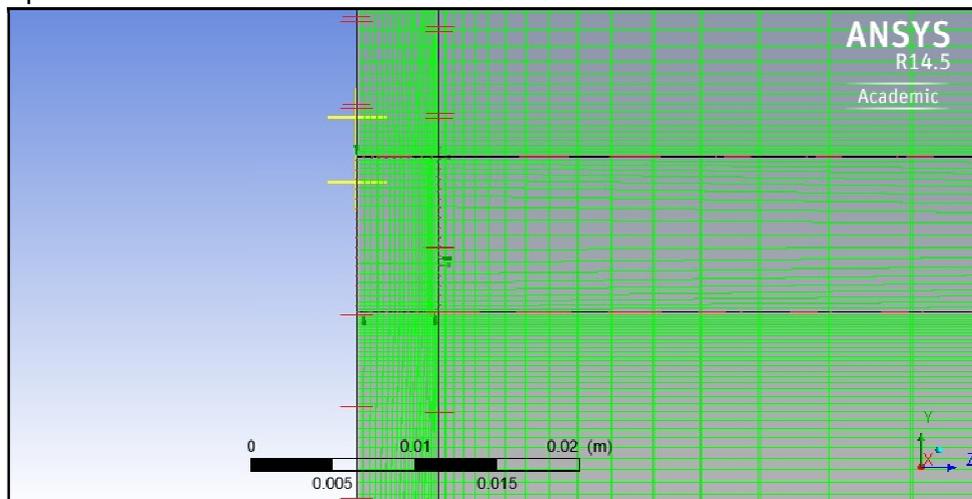


Ilustración 53 - Mallado del bloque de cerámica con el aire

10. Simulaciones

Para esta simulación se han considerado dos configuraciones, primero la parte estacionaria considerando que el bloque se encuentra a 350°C sin transferencia de calor; y luego la parte transitoria donde el bloque ya si transfiere calor al ambiente; esto se ha hecho para un mejor funcionamiento del programa y que el mismo se calcule las condiciones iniciales para el transitorio.

Las condiciones de contorno que hemos considerado para el ensayo han sido:

- Temperatura inicial de la cerámica uniforme de 350°C
- Temperatura ambiente 22°C
- Corriente de aire ascendente de 0.001m/s
- Hemos considerado el aire como “air ideal gas” a 1atm de presión
- Hemos añadido gravedad al modelo(Boyuancy en la dirección Y) de - 9.81(m/s²) con una Bouy.Ref density de 1.25(Kg/m³)
- El modelo de transferencia de calor empleado ha sido: Thermal Energy
- El flujo de aire laminar
- A parte hemos considerado que el exterior del aire en dirección radial es adiabático por lo que no habrá transferencia de calor, en cambio, la parte de arriba y abajo del aire se ha puesto como “opening” a temperatura ambiente.

Las características de la Cerámica son:

- $k(T) = 2 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 0.001 \cdot T + 1.474$
- $C_p(T) = 2.47 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 - 0.00495 \cdot T^2 + 3.9474 \cdot T - 10.305$
- $d = 2520(\text{Kg}/\text{m}^3)$
- Difusividad = 1
- Emisividad = 1

Los parámetros para la simulación han sido

- “Timestep” de 1s
- “Maxim loop” 50
- “Total time” 43s

Con la simulación se puede observar como empieza el bloque caliente a 350°C en t=0s como empieza a disipar calor hacia arriba y se va enfriando poco a poco de fuera hacia dentro como se muestra en las dos siguiente imágenes.

10. Simulaciones

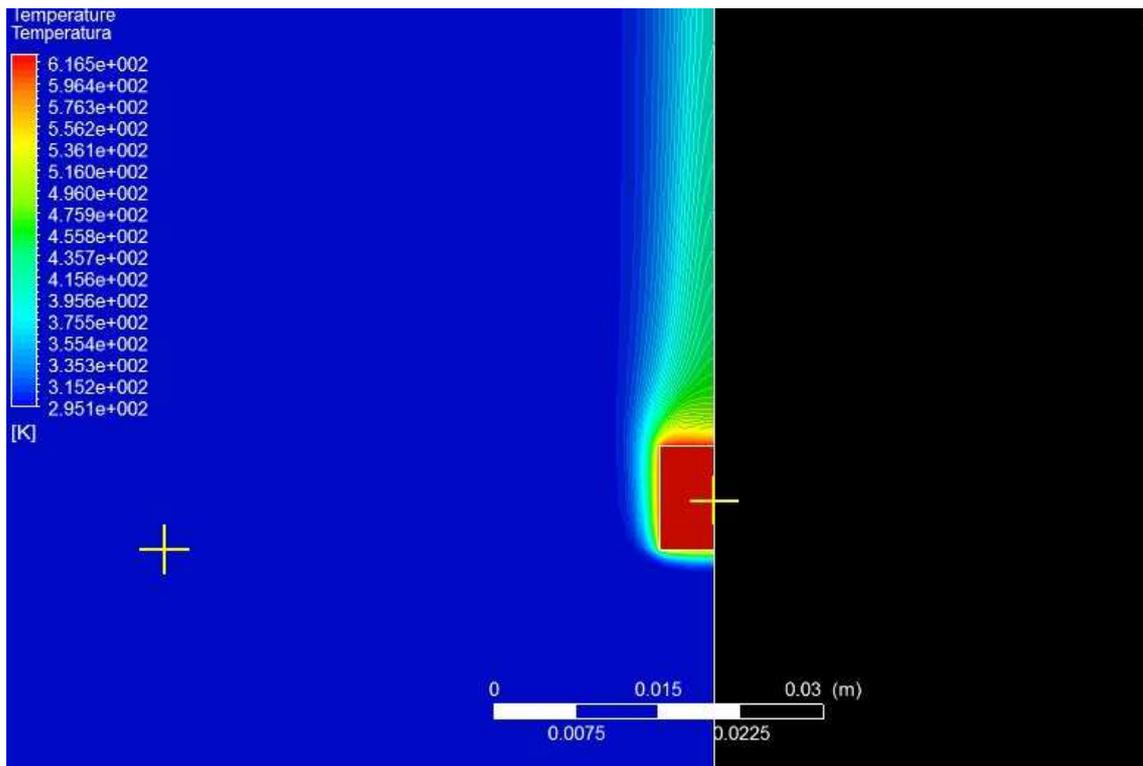


Ilustración 54 - Mapa de temperaturas del bloque para $t=0s$

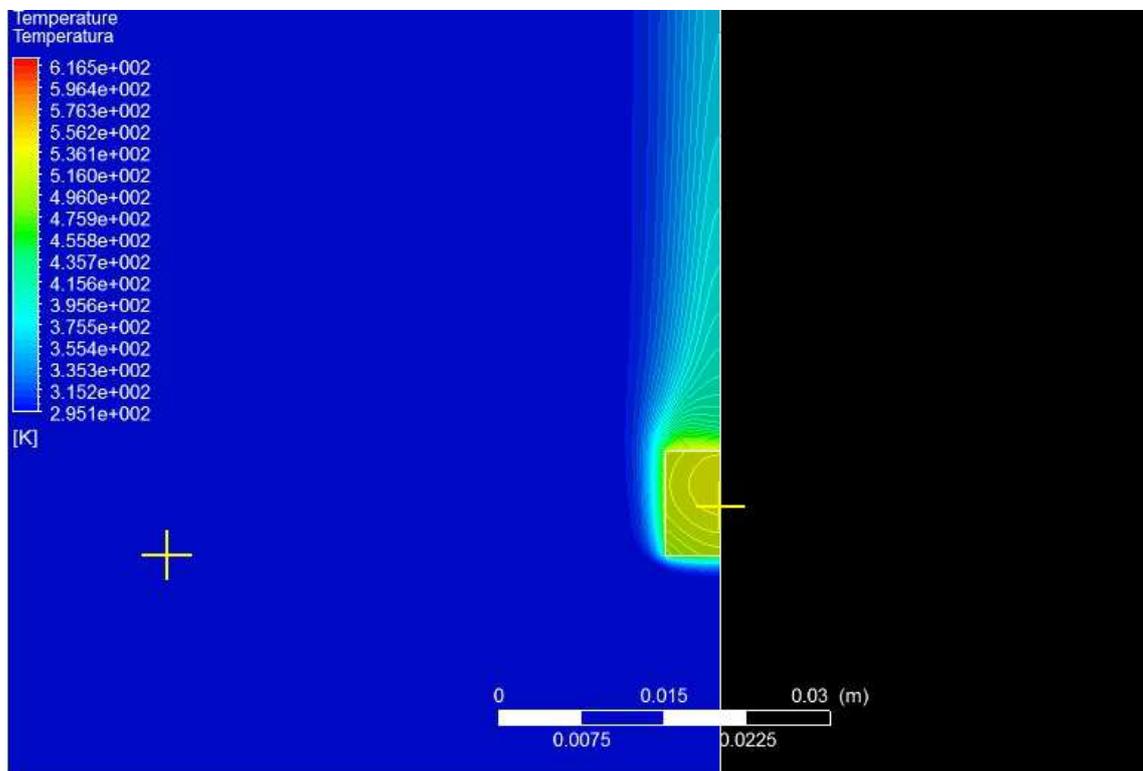


Ilustración 55 - Mapa de temperaturas del bloque para $t=43s$

10. Simulaciones

En la simulación también se puede observar la evolución temporal de la temperatura en el centro del bloque, el cual podremos comparar con la evolución de temperaturas medida en el experimento, compararlas y así poder obtener todos los parámetros de la cerámica para su posterior uso.

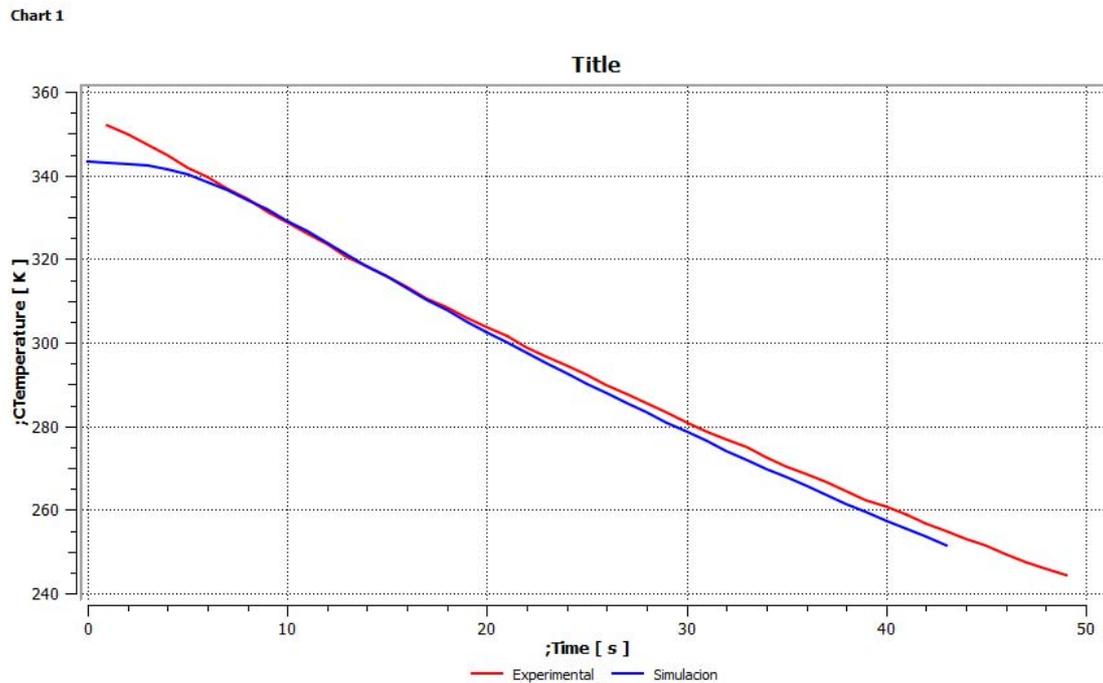


Ilustración 56 - Comparativa de la simulación y el experimental

10. Simulaciones

10.3. Simulación del comportamiento térmico de la vasija

Con el fin de estudiar el flujo de calor en el conjunto se ha realizado una simulación en régimen Transitorio de una porción de la vasija. Para esta simulación seguiremos empleando ANSYS.

Para ver dicho comportamiento hemos añadido a la simulación una zona (Dominio) de aire para que el mismo programa evalúe las pérdidas.

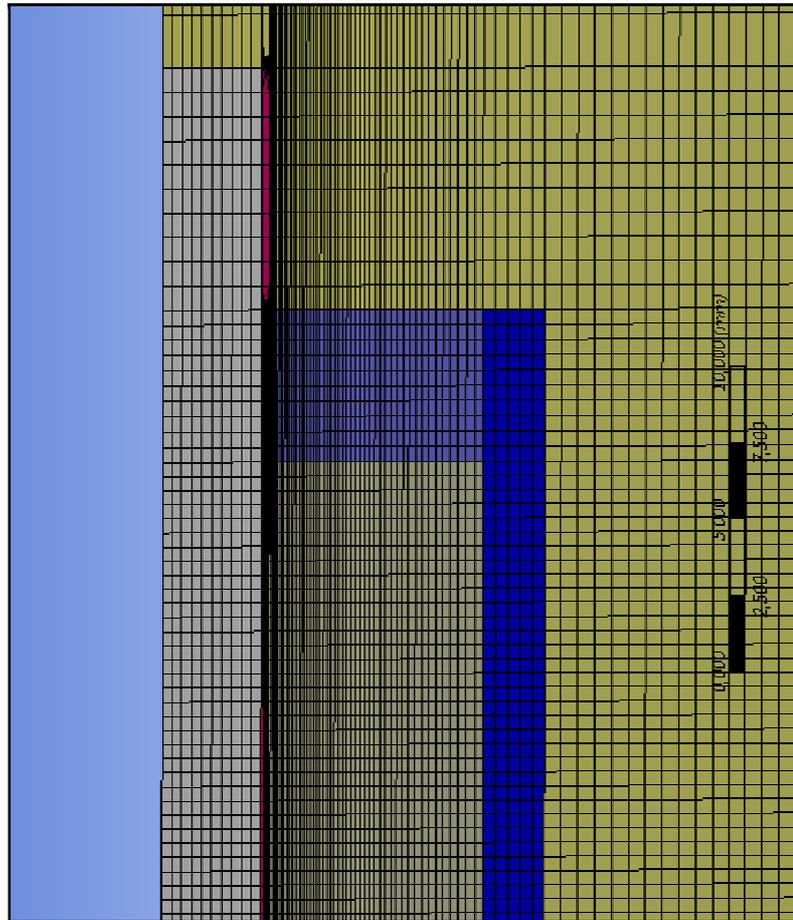


Ilustración 57 - Mallado de parte del sistema con el entorno

Las propiedades de la simulación y los materiales son:

Condiciones de contorno:

- Temperatura inicial de la cerámica uniforme de 22°C
- Temperatura ambiente 22°C
- Diferencia de potencial de 0.7 v
- Hemos considerado el aire como "air ideal gas" a 1atm de presión

10. Simulaciones

- Hemos añadido gravedad al modelo (Buoyancy en la dirección Y) de $-9.81(\text{m/s}^2)$ con una Bouy.Ref density de $1.2(\text{Kg/m}^3)$
- El modelo de transferencia de calor empleado ha sido: Thermal Energy
- El flujo de aire laminar
- A parte hemos considerado que el exterior del aire en dirección radial es adiabático por lo que no habrá transferencia de calor, en cambio, la parte de arriba y abajo del aire se ha puesto como “opening” a temperatura ambiente.

Cerámica:

- $k(T) = 2 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 0.001 \cdot T + 1.474$
- $C_p(T) = 2.47 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 - 0.00495 \cdot T^2 + 3.9474 \cdot T - 10.305$
- $d = 2520(\text{Kg/m}^3)$
- Difusividad = 1
- Emisividad = 1

Acero:

- $d=8.42(\text{g/cm}^3)$
- $C_p=444 (\text{J/KgK})$
- $K= 14.8 (\text{W/mk})$
- Conductividad eléctrica = $0.97\text{E}6(\text{S/m})$

Sal Solida:

- $d=2.26(\text{g/cm}^3)$
- $C_p=1.5 (\text{J/gK})$
- $k = 1 (\text{W/mK})$

Sal Liquida:

- $d=2.26(\text{g/cm}^3)$
- Viscosidad = $0.01 (\text{Pa s})$
- $k = 141 (\text{W/mk})$
- $C_p=1.5 (\text{J/gK})$
- Coeficiente de expansión = $1\text{E}-6 (\text{K}^{-1})$

Parametros de simulación:

- “Max loop”= 10
- “Time Step”= 2
- “Interrupt control” del solido cuando $T_{\text{centroSal}} > 142^\circ\text{C}$
- “Interrupt control” del Liquido cuando $T_{\text{centroSal}} > 300^\circ\text{C}$

10. Simulaciones

Con la simulación se puede observar como parte todo de temperatura ambiente y el tubo de acero (calentador) empieza a calentarse,...

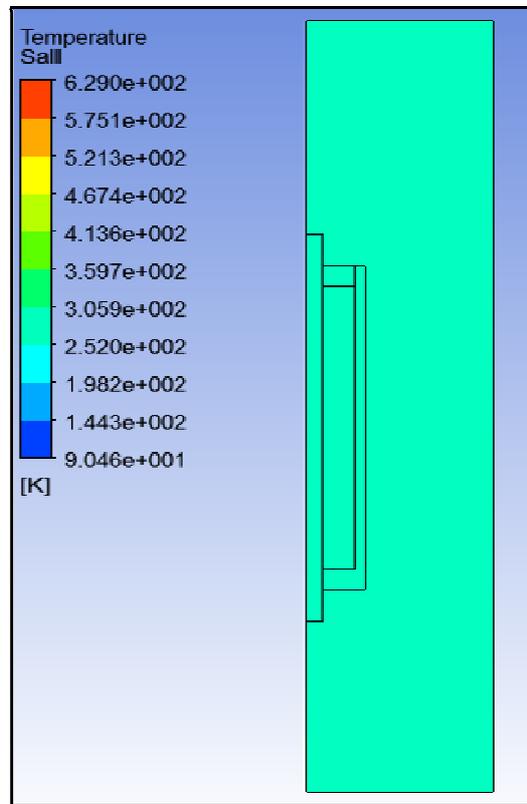


Ilustración 58 – Mapa de temperaturas del conjunto para $t=0s$

Se puede ver como a medida que avanza el tiempo se empieza a calentar el tubo

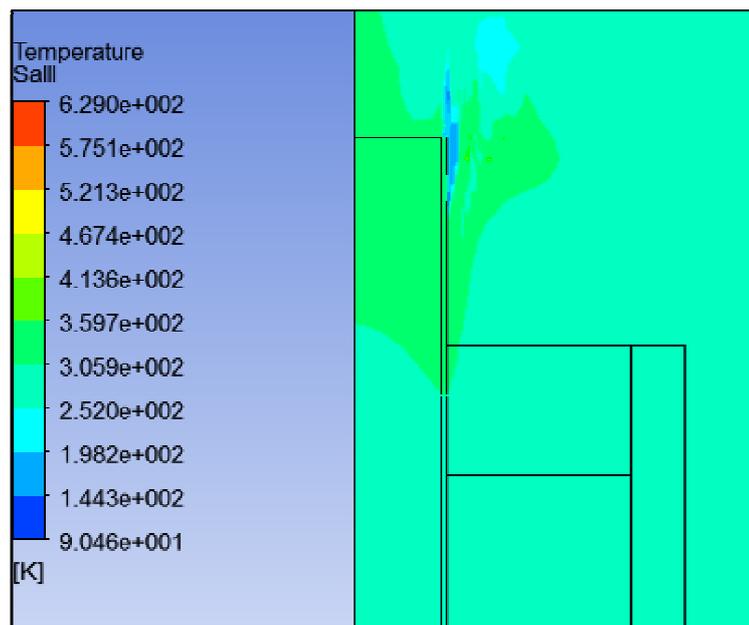


Ilustración 59 – Mapa de temperaturas del conjunto para $t=6s$

10. Simulaciones

Se puede ver como todo se va calentando hasta que llega a 142°C el centro lo que se asume que empieza a producirse el cambio de fase, debido a la complejidad de simular ese cambio se hace la siguiente simulación suponiendo que ya todo ha pasado a ser líquido y seguimos calentando. Ya que como se puede ver en la siguiente imagen la temperatura de la sal no es homogénea por lo que el cambio de fase empezara en ciertos sitios.

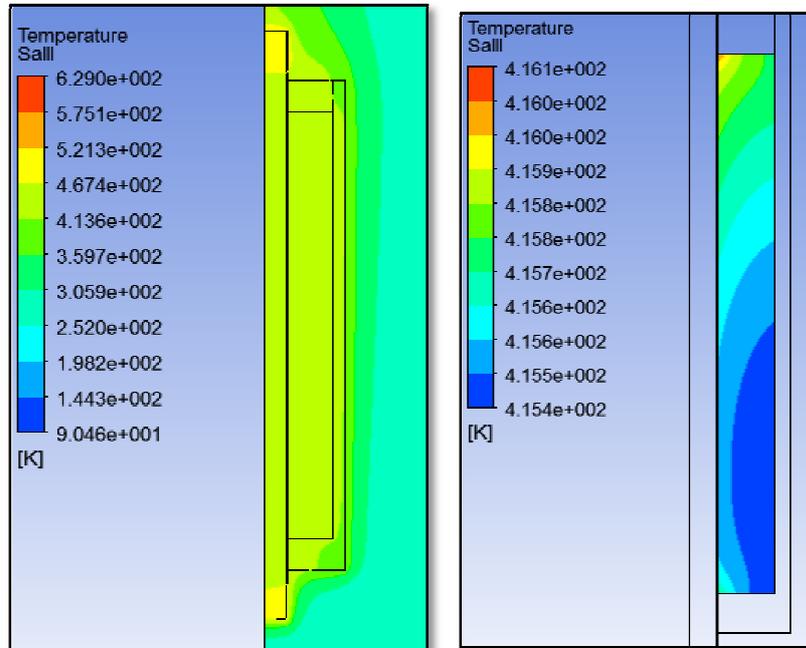


Ilustración 60 - Mapa de temperaturas del conjunto para $t = 594\text{s}$ (Izquierda) Mapa de temperaturas de la sal (derecha)

Una vez se ha llegado a la temperatura de cambio de fase se comienza la siguiente simulación partiendo de la sal líquida a 142°C

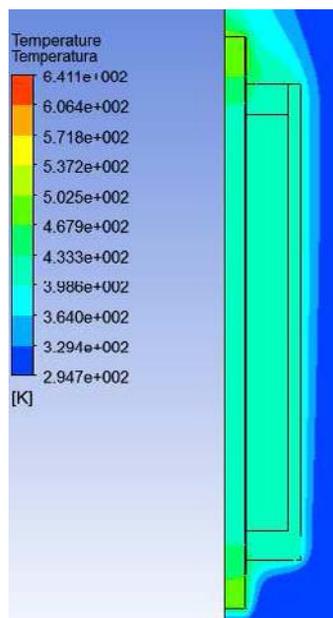


Ilustración 61 – Mapa de temperatura del conjunto para el inicio de la simulación en líquido $t=0\text{s}$

10. Simulaciones

Se puede ver cómo ha llegado a 300°C

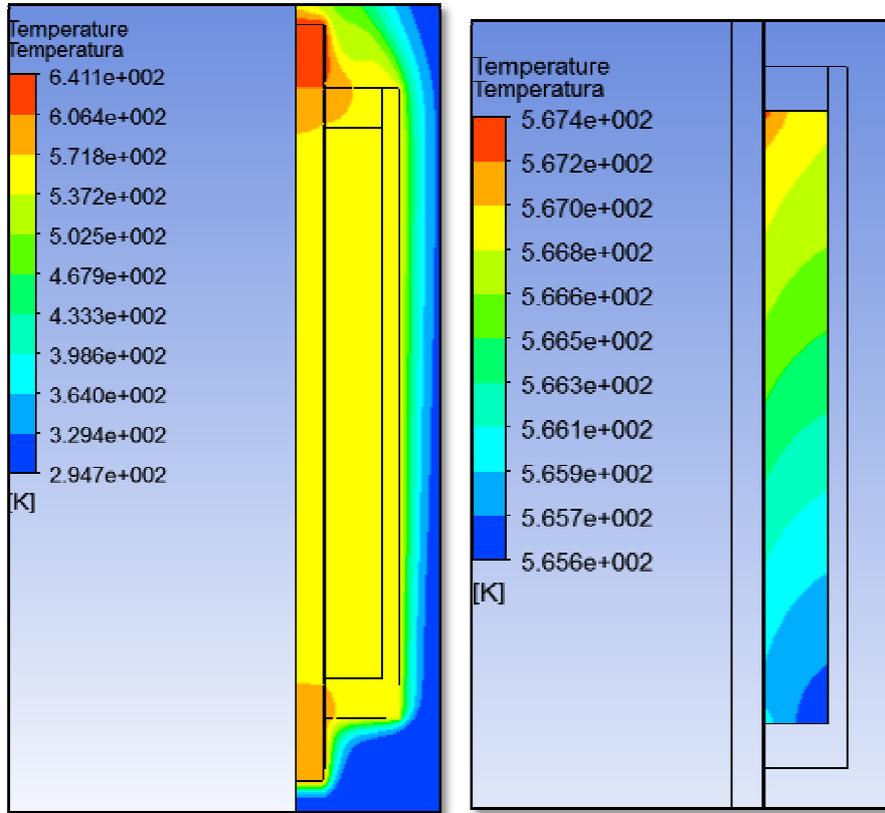


Ilustración 62 -. Mapa de temperaturas del conjunto para t= 1370s (Izquierda) Mapa de temperaturas de la sal (derecha)

En esta imagen se puede ver la evolución temporal de la temperatura de la sal en el centro de la sal.

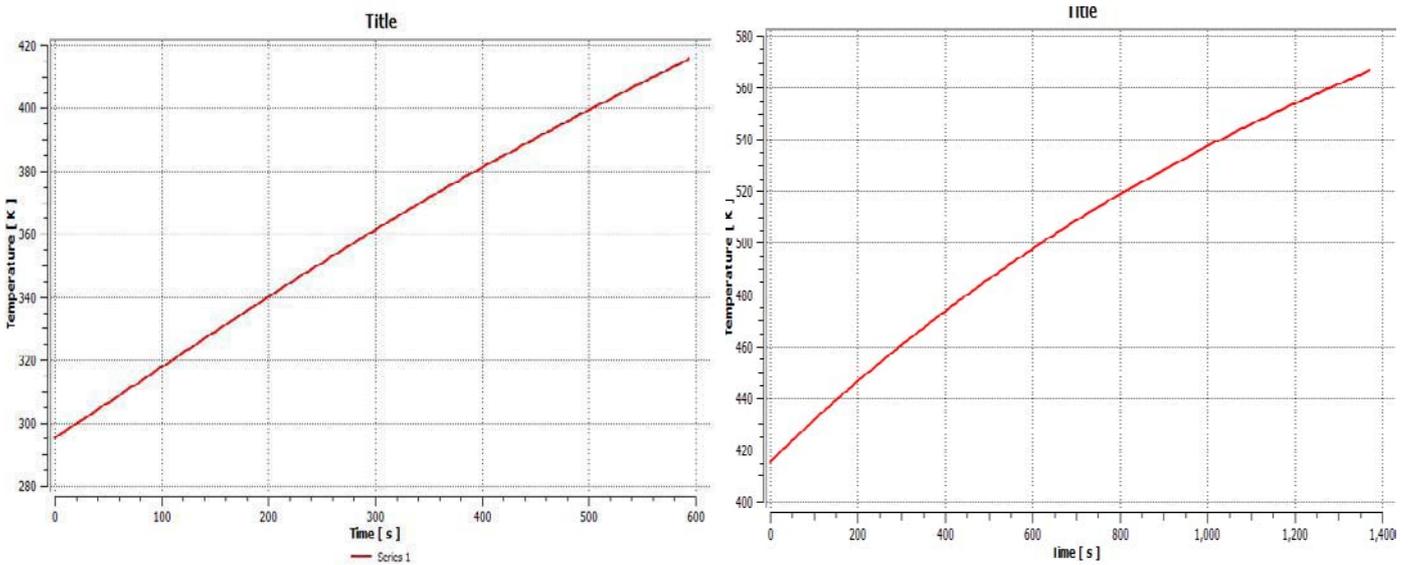


Ilustración 63 – Gráfica de la evolución temporal de la temperatura en el centro de la sal(Izquierda sólido)(Derecha líquido)

10. Simulaciones

10.4. Simulación del comportamiento dinámico de la sal líquida.

Una vez realizada la simulación anterior, y sabiendo ya su comportamiento térmico, vamos a estudiar cómo se comporta la sal líquida en su interior, viendo cual es el mapa de velocidades de la sal en el interior de la vasija; también ponemos un “vector” para ver como se mueve la sal.

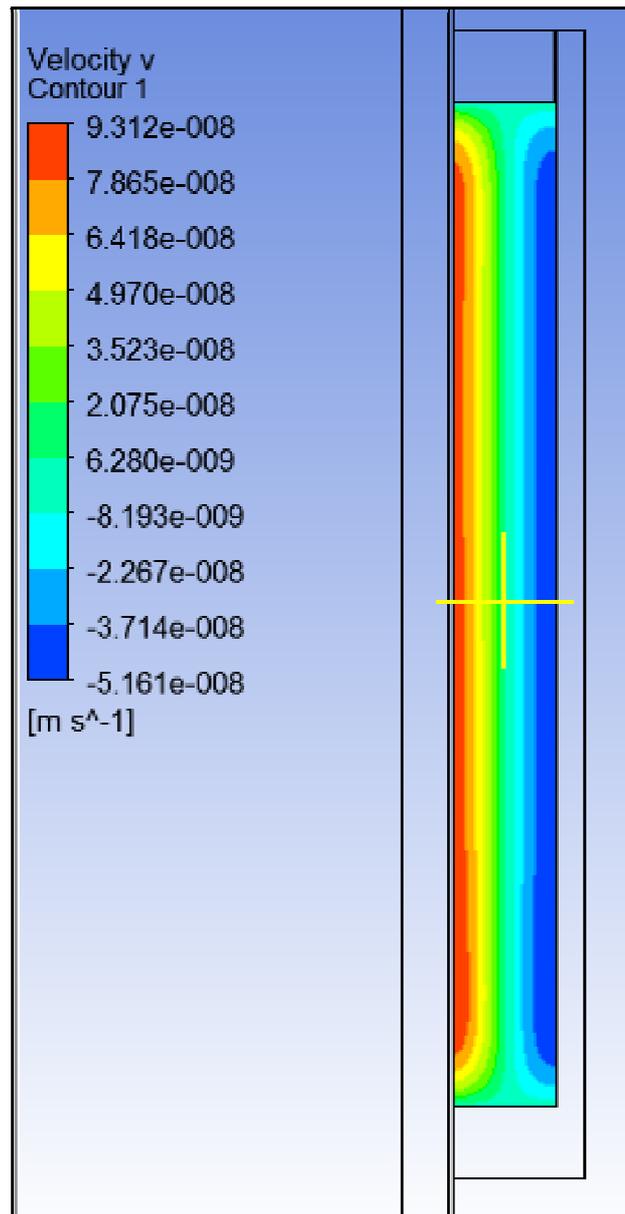


Ilustración 64 – Mapa de velocidades verticales de la sal

Como se puede observar las velocidades son muy bajas y además por los signos se ve como en la parte del calentador esta el fluido subiendo y en la parte del cuerpo bajando, creándose una corriente convectiva.

PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS	101
11.1. Plano 1: Base	
11.2. Plano 2: Cuerpo	
11.3. Plano 3: Tapa	
11.4. Plano 4: Soporte Tapa	
11.5. Plano 5: Calentador y cerámica interior.....	
11.6. Plano 6: Ensamblaje	

CONSTRUCCIÓN Y USO

12. Índice de construcción y uso

12. ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN Y USO

12. ÍNDICE DE CONSTRUCCIÓN Y USO	105
12. Construcción y uso	107
12.1. Fabricación de las piezas	107
12.1.1. Vasija	107
12.1.2. Base	109
12.1.3. Tapa	110
12.1.4. Soporte tapa.....	110
12.1.5. Otros.....	111
12.2. Ensamblaje de las piezas	112
12.3. Conexión de los elementos y preparación previa	114

12. Construcción y uso

12. Construcción y uso

12.1. Fabricación de las piezas

A continuación vamos a explicar cómo se han realizado todas las piezas.

12.1.1. Vasija

Para la realización de la vasija, el material de partida era una barra de la cerámica (MACOR) de 100m que tuvimos que cortar a la medida que queríamos con la tronadora, aunque para que la superficie quedase lisa luego tuvimos que hacer un refrentado a esa cara.



Ilustración 65 - Imagen de la tronadora cortando la barra

Una vez tenemos la barra con la altura que necesitamos, procedimos a vaciarla con el torno, pasando una broca del 22; debido a la dureza del material tuvimos que ir afilando la broca cada 10mm que entraba para evitar posibles enganchones y roturas.



Ilustración 66 -Imagen del torno

12. Construcción y uso

Una vez tenemos la vasija vaciada por dentro, procedimos a hacerle los agujeros en la base para los termopares, con la fresa de 1,5mm previamente para evitar problemas con su marcado de centros .



Ilustración 67 - Marcando el centro

El resultado final es:



Ilustración 68 - Imagen de la vasija

12. Construcción y uso

12.1.2. Base

La realización de la base es similar a la de la vasija pero cambiando medidas; primero cortamos una porción de la cerámica (DURATEC) a la medida que nos interesa, realizamos el refrentado para alisar la superficie, primero hicimos el agujero(25mm) más grande que servirá de base a la vasija; luego realizamos un agujero más pequeño(15mm) pero más hondo que servirá para que el tubo de acero pueda sobresalir por debajo y por ultimo hicimos el agujero(6mm) que albergara la cerámica interior del tubo que servirá como punto de apoyo.



Ilustración 69 - Imagen del torno

Una vez están hechos todos los agujeros, pusimos la pieza en la fresadora para realizar los canales por donde saldrán los termopares y las conexiones.



Ilustración 70 - Imagen de la base acabada

12. Construcción y uso

12.1.3. Tapa

El procedimiento para realizar la tapa es exactamente el mismo que para hacer la vasija pero esta vez el vaciado interior se realiza en el torno con un husillo; el resultado de estas operaciones es:



Ilustración 71 - Imagen de la tapa

12.1.4. Soporte tapa

Para la realización del soporte de la tapa el procedimiento seguido es exactamente el mismo que para la tapa pero cambiando las medidas; el resultado es:



Ilustración 72 - Imagen del soporte de la tapa

12. Construcción y uso

12.1.5. Otros

Otra de las piezas que lo componen, es una varilla de cerámica (Macor) que introducimos dentro del tubo de acero inoxidable a modo de "aislante"; como esta varilla debe albergar un termopar para saber la temperatura de la pared del tubo, pero este tiene que ir lo más ajustado posible (La varilla es de 6mm, el tubo 6,5mm y el termopar de 1,5mm) tenemos que hacer una ranura a la varilla para que pueda entrar a presión; esto se realiza con una fresa; el resultado es:



Ilustración 73 - Imagen de la varilla interior

El último elemento que falta es el tubo de acero que servirá como calentador que debido vino con la medida justa así que no tuvimos que hacerle ninguna operación.



Ilustración 74 - Tubo de acero

12. Construcción y uso

12.2. Ensamblaje de las piezas

A continuación se muestran una serie de imágenes de cómo van las piezas ensambladas:



Ilustración 76 - Vasija con tapa y base



Ilustración 75 - Vasija con calentador y varilla interior



Ilustración 77 - Vasija, con la base y termopares

12. Construcción y uso

Y aquí se muestra una foto de todo el conjunto ensamblado con los termopares, conexiones y unido ya con la masilla refractaria:

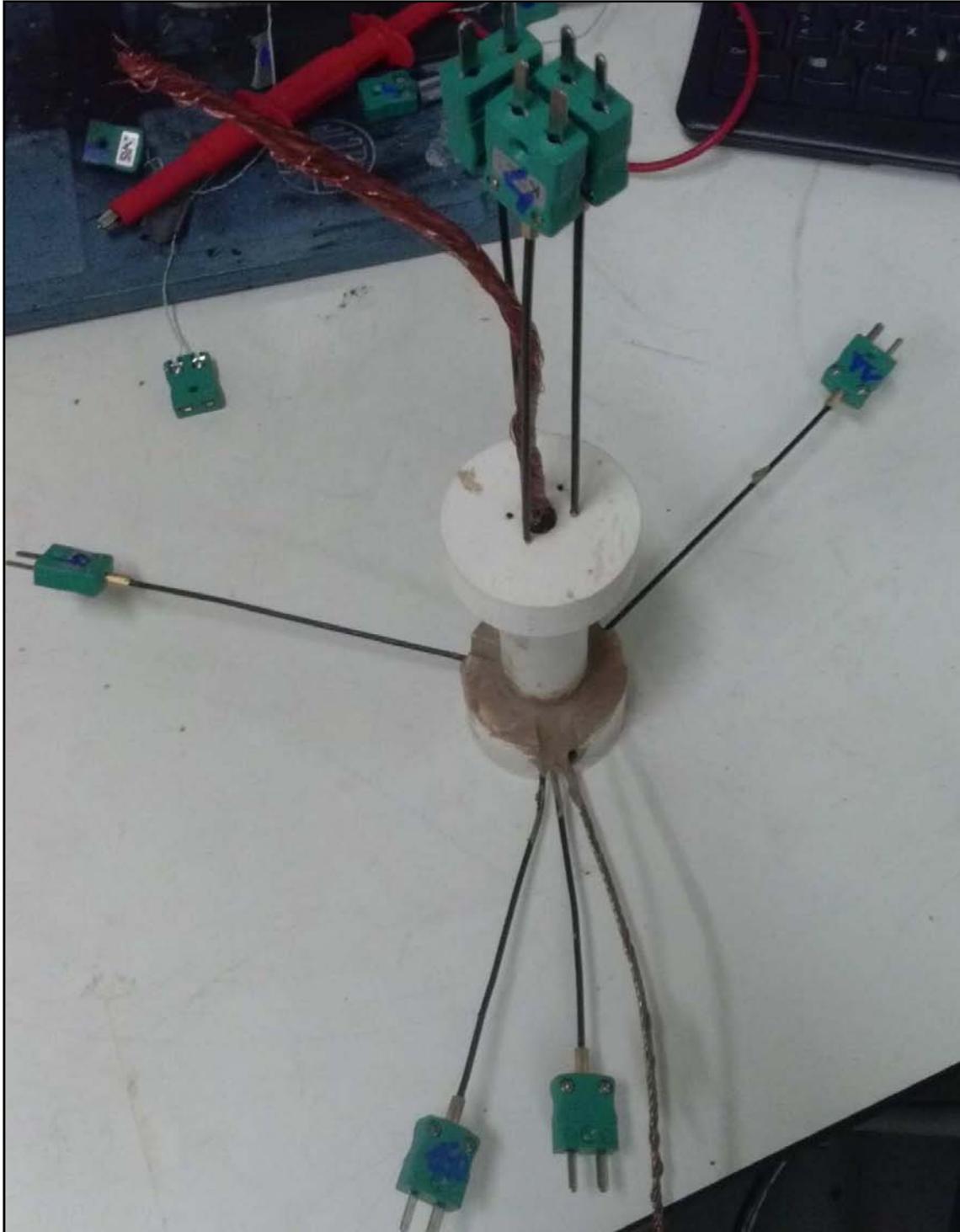


Ilustración 78 - Imagen del ensamblaje

12. Construcción y uso

12.3. Conexión de los elementos y preparación previa

Una vez la masilla ha secado (durante 48h) hemos conectado todos los termopares con el sistema de adquisición, las conexiones del calentador con la fuente de alimentación, las pinzas en los cables de entrada y salida del calentador para medir la caída en el tubo y la pinza amperimétrica para la intensidad.



Ilustración 79 - Imagen de todo el sistema conectado

Una vez la vasija está llena, le pusimos un abrigo de lana de roca para intentar reducir al máximo las pérdidas al ambiente:



Ilustración 80 - Imagen de la vasija con lana de roca

12. Construcción y uso

12.4. Llenado

Para el llenado de la vasija había que hacerlo con la vasija abierta ya que debido a la porosidad de la sal, el volumen que habías metido al fundirse es mucho menor, así que había que ir rellenando con más sólido hasta que se llenase hasta arriba de líquido, como se puede ver en las imágenes se iba fundiendo poco a poco hasta que llegaba a ser todo líquido y lleno hasta arriba:



Ilustración 82 - Imagen vasija llena de sal sólida



Ilustración 81 - Imagen vasija se empieza a fundir



Ilustración 83 - Imagen vasija con sal fundida

Una vez esta llena se tapa, se deja enfriar, se le pone la lana de roca para aislar y ya pueden empezar los ensayos.

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES	119
13. PLIEGO DE CONDICIONES.....	121
13.1. Aparatos de medida.....	121
13.2. Materiales	121
13.3. Procedimientos de construcción.....	121

13. Pliego de condiciones

13. PLIEGO DE CONDICIONES

A continuación vamos a detallar una serie de condiciones que deben cumplir tanto los aparatos de medida como los materiales y los procedimientos de construcción:

13.1. Aparatos de medida

Debido a que estamos trabajando con corriente continua los instrumentos encargados de medir estas señales han de estar preparados para medir en continua principalmente por la pinza amperimétrica que tendrá que ser una especial para la medida en continua, además todos los instrumentos de medida deben tener una señal de salida de voltaje para poder medirlo con el sistema de adquisición.

Por lo que respecta a las precisiones de los aparatos y sus rangos de medida:

- Termopar: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ y un rango como mínimo de $\text{Tamb}-400^{\circ}\text{C}$.
- Pinza amperimétrica: Debe ser capaz de medir como mínimo 50A con una precisión de $\pm 2\text{A}$ como máximo para lograr un error de la medida relativamente bajo.
- Un sistema de adquisición de datos con mínimo 14 canales de entrada de datos.

13.2. Materiales

Los materiales con los que se fabrique la vasija han de ser un material que no conduzca la electricidad, que sea buen aislante térmico, fácilmente mecanizable y que aguante hasta 500°C .

Por lo que respecta al calentador ha de ser un material metálico que conduzca la corriente pero que tenga mala conductividad para aumentar la resistencia, además de aguantar como mínimo 600°C .

Todos los cables eléctricos han de tener una sección mínima que permita circular la intensidad (50A) sin recalentarse.

13.3. Procedimientos de construcción

Para la fabricación de la vasija se parte de una barra de cerámica que se vaciara con el torno con la broca correspondiente (o husillo para el torno) la cual habrá que ir reafilando cada poco tiempo ya que la cerámica desgasta mucho el filo para evitar enganches.

CATÁLOGOS

ÍNDICE DE CATÁLOGOS

ÍNDICE DE CATÁLOGOS	125
14. CATÁLOGOS.....	127
14.1. Agilent 34972A.....	127
14.2. Cerámica MACOR	132
14.3. Cerámica DURATEC	137
14.4. Tubos Capilares	138
14.5. Otros productos:	139
14.5.1 Masilla refractaria	139
14.5.2. Termopar.....	139
14.5.3. Amperimetro 800-S.....	140
14.6. Sales.....	143
14.7. Calentadores de banda Watlow	145
14.8. Calentadores de cartucho Watlow.....	146

14. Catálogos

14. CATÁLOGOS

14.1. Agilent 34972A

Es el sistema de adquisición de datos que hemos empleado para este proyecto, y aquí explicamos algunas de sus características.



Ilustración 84 - Imagen del Agilent

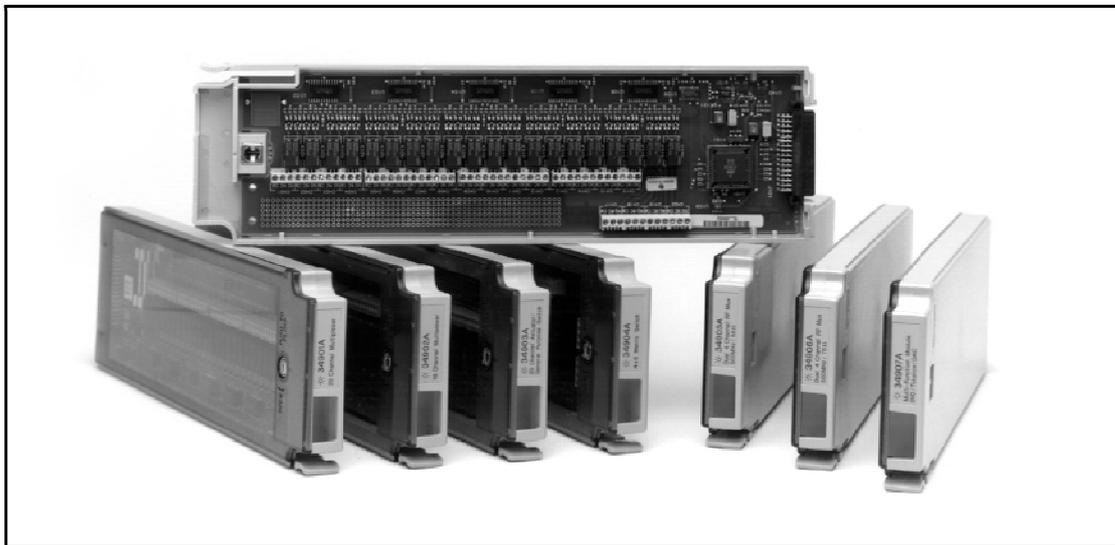
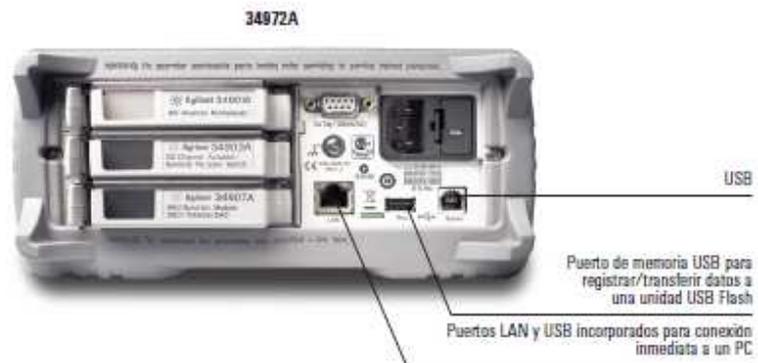
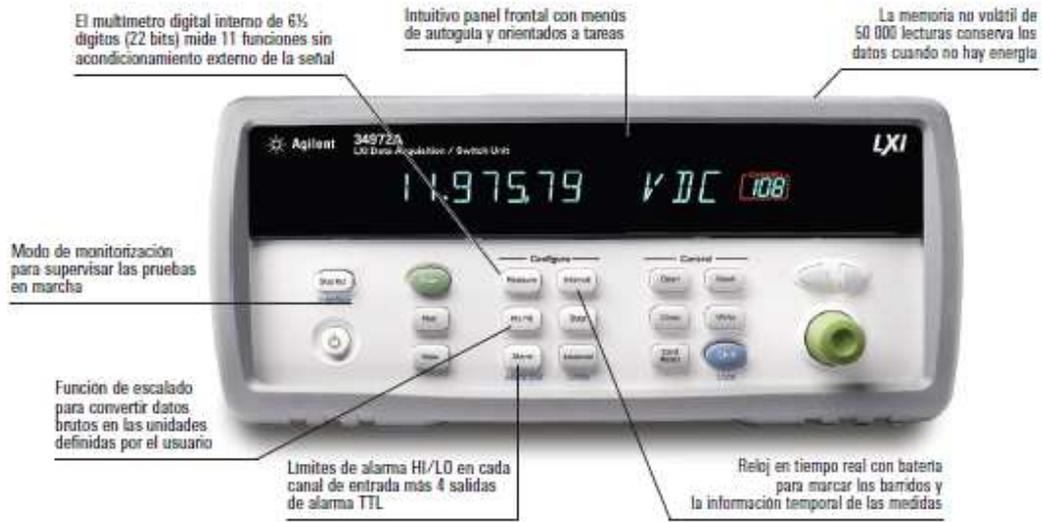


Ilustración 85 - Imagen de los multiplexores

14. Catálogos

Más potencia y flexibilidad de la que nunca haya podido imaginar



14. Catálogos

Precio y rendimiento sin competencia

Atrévase a comparar las unidades de adquisición de datos/ conmutación 34970A y 34972A de Agilent Technologies con otros de los sistemas de adquisición de datos disponibles en el mercado. Será difícil que encuentre un sistema que ofrezca el potente rendimiento de medida, la flexibilidad, las opciones de conectividad y la facilidad de uso de la unidad 34970A/34972A, incluso en sistemas que cuestan entre 3 y 5 veces más.

¿Qué puede esperar de un sistema de adquisición de datos con este precio? Medidas plenamente fiables

Hemos tomado el dispositivo de medida del multímetro digital de banco de trabajo más vendido y lo hemos integrado en un mainframe de 3 ranuras. Así, disfrutará del rendimiento de medida probado de Agilent, entradas universales con acondicionamiento de señal incorporado y flexibilidad modular, todo ello en un paquete de adquisición de datos compacto y económico. La unidad 34970A/34972A presenta 6½ dígitos (22 bits) de resolución, precisión de DGV básica del 0,004 % y ruido de lectura ultrabajo. Combine estas características con velocidades de barrido de hasta 250 canales/s y obtendrá la velocidad y precisión necesarias para terminar los trabajos con éxito y a la primera.

Acondicionamiento de señal incorporado para obtener resultados a la primera

¿Necesita medir temperatura, tensión AC/DC, resistencia, frecuencia o corriente? Confíe en la unidad 34970A/34972A.

El multímetro digital con autorrango mide directamente 11 funciones distintas, sin que sea necesario realizar un costoso acondicionamiento de señal externo. Y nuestro diseño exclusivo permite una configuración por canal completa para conseguir la máxima flexibilidad y una configuración rápida y sencilla. Es como tener un multímetro digital de alto rendimiento e independiente tras cada canal.

Conectividad estándar con el PC

Independientemente del uso de interfaces GPIB, RS-232, LAN o USB, la familia 34970A/34972A permite una conexión fácil con el PC. La unidad 34972A cuenta con interfaces Gigabit LAN y USB 2.0 incorporadas, por lo que puede conectarse a un PC moderno sin tener que adquirir tarjetas GPIB, cables o convertidores. Además, la conexión LAN estándar ofrece la ventaja adicional de una interfaz gráfica web que facilita la configuración de las medidas y la monitorización de los resultados utilizando un navegador web estándar.

Cómodo almacenamiento de datos en unidad USB Flash

La unidad 34972A también presenta un puerto de memoria USB incorporado que permite utilizar unidades USB Flash para cargar configuraciones de BenchLink Data Logger en el 34972A y recopilar datos sin tener que conectarse a un PC. Los datos pueden registrarse directamente en la unidad USB Flash, ampliando así la memoria del instrumento, o copiarse desde la memoria interna para transferirlos a un ordenador en otro lugar.

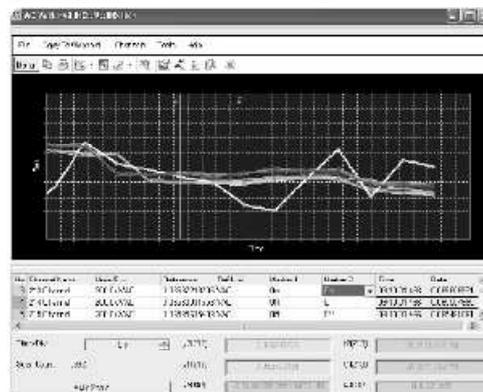
Simplifique la recopilación de datos con el software Agilent BenchLink Data Logger 3

¿Necesita funciones de registro de datos basadas en PC pero no quiere invertir horas en programación? El software BenchLink Data Logger 3 es la respuesta. Esta aplicación basada en Windows está diseñada para recopilar y analizar medidas en el PC en un momento. Puede utilizarla para configurar las pruebas, adquirir y archivar datos de medida, y realizar visualizaciones y análisis en tiempo real de las medidas entrantes.

Un entorno de hojas de cálculo muy familiar facilita la configuración y el control de las pruebas. Y un amplio conjunto de gráficos a todo color ofrece distintas opciones para analizar y mostrar los datos, todo con una gran facilidad de manejo con el ratón. Configure distintos gráficos: de banda continua, histogramas, de barras o de dispersión, resultados individuales por canal y mucho más. Además, como es lógico, puede utilizar BenchLink Data Logger 3 para trasladar fácilmente datos a otras aplicaciones para su posterior análisis o para incluirlos en sus presentaciones e informes.

El software BenchLink Data Logger puede ejecutarse conectado al ordenador, de forma independiente en el instrumento o incluso en red, utilizando la interfaz LAN de la unidad 34972A.

Channel	Name	Units	Range	Status
1	DC VOLT	V	10.0000	OK
2	DC VOLT	V	10.0000	OK
3	DC VOLT	V	10.0000	OK
4	DC VOLT	V	10.0000	OK
5	DC VOLT	V	10.0000	OK
6	DC VOLT	V	10.0000	OK
7	DC VOLT	V	10.0000	OK
8	DC VOLT	V	10.0000	OK
9	DC VOLT	V	10.0000	OK
10	DC VOLT	V	10.0000	OK
11	DC VOLT	V	10.0000	OK
12	DC VOLT	V	10.0000	OK
13	DC VOLT	V	10.0000	OK
14	DC VOLT	V	10.0000	OK
15	DC VOLT	V	10.0000	OK
16	DC VOLT	V	10.0000	OK
17	DC VOLT	V	10.0000	OK
18	DC VOLT	V	10.0000	OK
19	DC VOLT	V	10.0000	OK
20	DC VOLT	V	10.0000	OK
21	DC VOLT	V	10.0000	OK
22	DC VOLT	V	10.0000	OK
23	DC VOLT	V	10.0000	OK
24	DC VOLT	V	10.0000	OK
25	DC VOLT	V	10.0000	OK
26	DC VOLT	V	10.0000	OK
27	DC VOLT	V	10.0000	OK
28	DC VOLT	V	10.0000	OK
29	DC VOLT	V	10.0000	OK
30	DC VOLT	V	10.0000	OK
31	DC VOLT	V	10.0000	OK
32	DC VOLT	V	10.0000	OK
33	DC VOLT	V	10.0000	OK
34	DC VOLT	V	10.0000	OK
35	DC VOLT	V	10.0000	OK
36	DC VOLT	V	10.0000	OK
37	DC VOLT	V	10.0000	OK
38	DC VOLT	V	10.0000	OK
39	DC VOLT	V	10.0000	OK
40	DC VOLT	V	10.0000	OK
41	DC VOLT	V	10.0000	OK
42	DC VOLT	V	10.0000	OK
43	DC VOLT	V	10.0000	OK
44	DC VOLT	V	10.0000	OK
45	DC VOLT	V	10.0000	OK
46	DC VOLT	V	10.0000	OK
47	DC VOLT	V	10.0000	OK
48	DC VOLT	V	10.0000	OK
49	DC VOLT	V	10.0000	OK
50	DC VOLT	V	10.0000	OK



14. Catálogos

Guía de selección rápida de módulos para las unidades 34970A y 34972A de Agilent

Descripción del modelo	Tipo	Velocidad (canales/s)	Tensión máx.	Intensidad máx.	Ancho de banda	Desviación térmica	Comentarios
34901A Multiplexor de 20 canales + 2 canales de corriente	Armadura a 2 hilos (seleccionable 4 hilos)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	Unión fría de referencia incorporada con 2 canales de corriente adicionales (22 en total)
34902A Multiplexor de 16 canales	Lengüeta a 2 hilos (seleccionable 4 hilos)	250 [1]	300 V	50 mA	10 MHz	< 6 μ V	Unión fría de referencia incorporada
34903A Actuador/comm. para uso general de 20 canales	SPDT/Forma C	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	
34904A Matriz 4 x 8	Armadura a 2 hilos	120	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	
34905A Multiplexor de RF dual de 4 canales y 50 Ω	Común bajo (no terminado)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz de ancho de banda mediante un cable adaptador de BNC a SMB
34906A Multiplexor de RF dual de 4 canales y 75 Ω	Común bajo (no terminado)	60	42 V	0,7 A	2 GHz	< 6 μ V	1 GHz de ancho de banda mediante un cable adaptador de BNC a SMB
34907A Módulo multifunción	7 puertos I/O digitales de 8 bits		42 V	400 mA			Drenaje abierto
	Contador de eventos de 26 bits		42 V		100 KHz		Umbral de entrada seleccionable
	2 salidas analógicas de 16 bits		\pm 12 V	10 mA	DC		Salida total máx. de 40 mA por unidad
34908A Multiplexor single-ended de 40 canales	Armadura a un hilo (común bajo)	60	300 V	1 A	10 MHz	< 3 μ V	Unión fría de referencia incorporada Sin medidas a 4 hilos

[1] Hasta 250 canales/s a la memoria interna. Consulte las velocidades de barrido para conocer las condiciones y velocidades de medida de cada instrumento.

14. Catálogos

Especificaciones de precisión del 34970A/34972A ± (% de lectura + % de rango)^[1]

Incluye error de medida, error de conmutación y error de conversión del transductor

	Rango ^[2]	Frecuencia, etc.	24 horas ^[2] 23 °C ±1 °C	90 días 23 °C ±5 °C	Un año 23 °C ±5 °C	Coefficiente de temperatura 0 °C–18 °C, 28 °C–55 °C
Tensión DC						
	100.0000 mV		0,0030 + 0,0035	0,0040 + 0,0040	0,0050 + 0,0040	0,0005 + 0,0005
	1,000000 V		0,0020 + 0,0006	0,0030 + 0,0007	0,0040 + 0,0007	0,0005 + 0,0001
	10,00000 V		0,0015 + 0,0004	0,0020 + 0,0005	0,0035 + 0,0005	0,0005 + 0,0001
	100,0000 V		0,0020 + 0,0006	0,0035 + 0,0006	0,0045 + 0,0006	0,0005 + 0,0001
	300,000 V		0,0020 + 0,0020	0,0035 + 0,0030	0,0045 + 0,0030	0,0005 + 0,0003
RMS reales de tensión AC ^[4]						
	Todos los rangos a partir de 100,0000 mV a 100,0000 V	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,03	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	0,100 + 0,004
		5 Hz-10 Hz	0,35 + 0,03	0,35 + 0,04	0,35 + 0,04	0,035 + 0,004
		10 Hz-20 kHz	0,04 + 0,03	0,05 + 0,04	0,06 + 0,04	0,005 + 0,004
		20 kHz-50 kHz	0,10 + 0,05	0,11 + 0,05	0,12 + 0,05	0,011 + 0,005
		50 kHz-100 kHz	0,55 + 0,08	0,60 + 0,08	0,60 + 0,08	0,060 + 0,008
		100 kHz–300 kHz ^[5]	4,00 + 0,50	4,00 + 0,50	4,00 + 0,50	0,20 + 0,02
	300,0000 V	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,05	1,00 + 0,08	1,00 + 0,08	0,100 + 0,008
		5 Hz-10 Hz	0,35 + 0,05	0,35 + 0,08	0,35 + 0,08	0,035 + 0,008
		10 Hz-20 kHz	0,04 + 0,05	0,05 + 0,08	0,06 + 0,08	0,005 + 0,008
		20 kHz-50 kHz	0,10 + 0,10	0,11 + 0,12	0,12 + 0,12	0,011 + 0,012
		50 kHz-100 kHz	0,55 + 0,20	0,60 + 0,20	0,60 + 0,20	0,060 + 0,020
		100 kHz–300 kHz ^[5]	4,00 + 1,25	4,00 + 1,25	4,00 + 1,25	0,20 + 0,05
Resistencia ^[6]						
	100,0000 Ω	Fuente de corriente de 1 mA	0,0030 + 0,0035	0,008 + 0,004	0,010 + 0,004	0,0006 + 0,0005
	1,000000 kΩ	1 mA	0,0020 + 0,0006	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001
	10,000000 kΩ	100 μA	0,0020 + 0,0005	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001
	100,0000 kΩ	10 μA	0,0020 + 0,0005	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0006 + 0,0001
	1,000000 MΩ	5,0 μA	0,002 + 0,001	0,008 + 0,001	0,010 + 0,001	0,0010 + 0,0002
	10,000000 MΩ	500 nA	0,015 + 0,001	0,020 + 0,001	0,040 + 0,001	0,0030 + 0,0004
	100,0000 MΩ	500 nA 10 MΩ	0,300 + 0,010	0,800 + 0,010	0,800 + 0,010	0,1500 + 0,0002
Frecuencia y período ^[7]						
	100 mV	3 Hz-5 Hz	0,10	0,10	0,10	0,005
	a 300 V	5 Hz-10 Hz	0,05	0,05	0,05	0,005
		10 Hz-40 Hz	0,03	0,03	0,03	0,001
		40 Hz-300 kHz	0,006	0,01	0,01	0,001
Corriente DC (solo 34901A)						
	10,000000 mA	< 0,1 V de carga	0,005 + 0,010	0,030 + 0,020	0,050 + 0,020	0,002 + 0,0020
	100,00000 mA	< 0,6 V	0,010 + 0,004	0,030 + 0,005	0,050 + 0,005	0,002 + 0,0005
	1,000000 A	< 2 V	0,050 + 0,006	0,080 + 0,010	0,100 + 0,010	0,005 + 0,0010
RMS reales de corriente AC (solo 34901A)						
	10,000000 mA y ^[8] 1,000000 A	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	1,00 + 0,04	0,100 + 0,006
		5 Hz-10 Hz	0,30 + 0,04	0,30 + 0,04	0,30 + 0,04	0,035 + 0,006
		10 Hz-5 kHz	0,10 + 0,04	0,10 + 0,04	0,10 + 0,04	0,015 + 0,006
	100,0000 mA ^[9]	3 Hz-5 Hz	1,00 + 0,5	1,00 + 0,5	1,00 + 0,5	0,100 + 0,06
		5 Hz-10 Hz	0,30 + 0,5	0,30 + 0,5	0,30 + 0,5	0,035 + 0,06
		10 Hz-5 kHz	0,10 + 0,5	0,10 + 0,5	0,10 + 0,5	0,015 + 0,06
Temperatura						
	Tipo	Precisión a un año ^[10]		Precisión a un año de rango ampliado ^[10]		Coefficiente de temperatura/°C
Termopar ^[10]	B	De 1 100 °C a 1 820 °C	1,2 °C	De 400 °C a 1 100 °C	1,8 °C	
	E	De -150 °C a 1 000 °C	1,0 °C	De -200 °C a -150 °C	1,5 °C	
	J	De -150 °C a 1 200 °C	1,0 °C	De -210 °C a -150 °C	1,2 °C	
	K	De -100 °C a 1 200 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	0,03 °C
	N	De -100 °C a 1 300 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	
	R	De 300 °C a 1 760 °C	1,2 °C	De -50 °C a 300 °C	1,8 °C	
	S	De 400 °C a 1 760 °C	1,2 °C	De -50 °C a 400 °C	1,8 °C	
	T	De -100 °C a 400 °C	1,0 °C	De -200 °C a -100 °C	1,5 °C	
RTD	R _n de 49 Ω a 2,1 kΩ	De -200 °C a 600 °C	0,06 °C			0,003 °C
Termistor	2,2 k, 5 k, 10 k	De -80 °C a 150 °C	0,08 °C			0,002 °C

[1] Especificaciones para una hora de calentamiento y 6% dígitos, filtro de AC lento

[2] Con relación a los estándares de calibración

[3] 20 % por encima del rango en todos los rangos salvo 300 VDC y rangos AC, y 1 ADC y rangos de corriente AC

[4] Para una entrada de onda sinusoidal > 5 % del rango. Para entradas del 1 % a 5 % del rango y de < 50 kHz, añádase un 0,1 % de error adicional de rango

[5] Normalmente, 30 % de error de lectura a 1 MHz, limitado a 1 x 10⁸ V Hz

[6] Especificaciones para función de resistencia a 4 hilos o resistencia a 2 hilos usando escalado para eliminar el offset. Sin escalado, añádase un error adicional de 4 Ω en la función de resistencia a 2 hilos

[7] Entrada > 100 mV. Para entradas de 10 mV a 100 mV, multiplíquese el % de error de lectura x 10

[8] Especificado solo para entradas > 10 mA

[9] Para la precisión de medida total, añádase el error de la sonda de temperatura

[10] Especificaciones de termopar no garantizadas si está presente el módulo 34970A

14. Catálogos

14.2. Cerámica MACOR

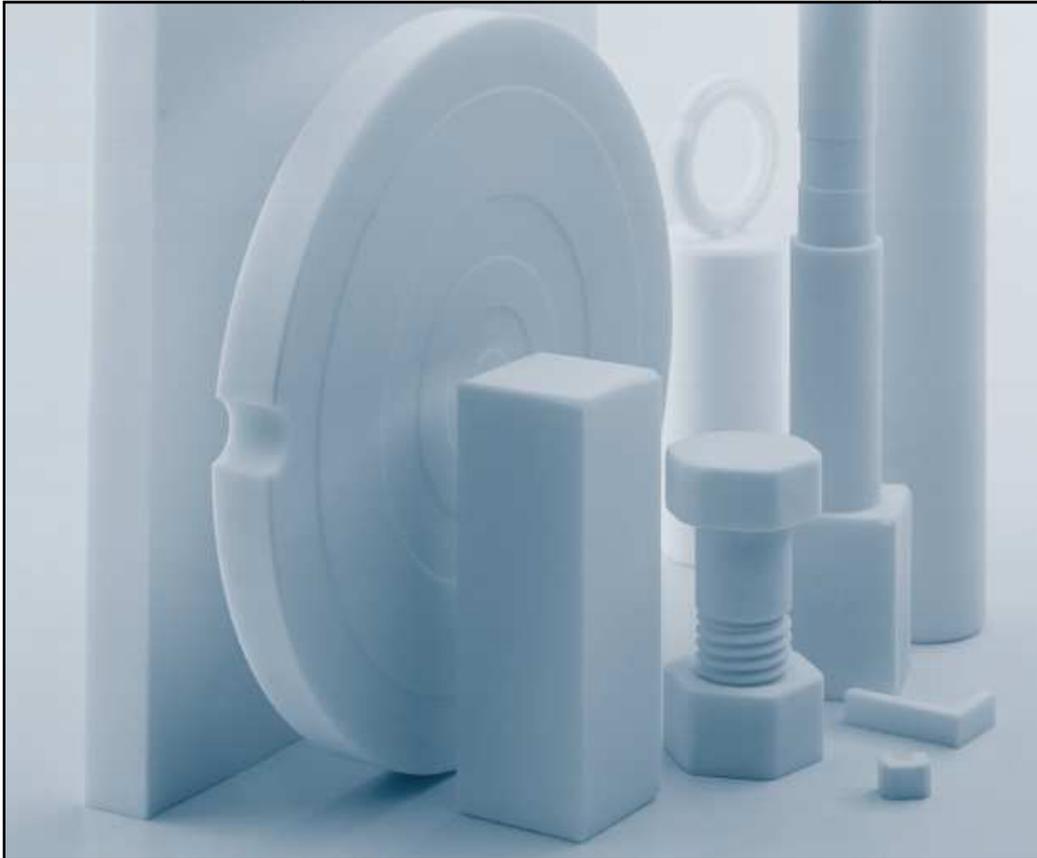


Ilustración 86 - Imagen de piezas hechas con macor

Composition

MACOR Machinable Glass Ceramic is a white, odorless, porcelain-like (in appearance) material composed of approximately 55% fluorophlogopite mica and 45% borosilicate glass. It has no known toxic effects; however, the dust created in machining can be an irritant. This irritation can be avoided by good housekeeping and appropriate machining techniques. The material contains the following compounds:

	Approximate Weight %
Silicon - SiO ₂	46%
Magnesium - MgO	17%
Aluminum - Al ₂ O ₃	16%
Potassium - K ₂ O	10%
Boron - B ₂ O ₃	7%
Fluorine - F	4%

Ilustración 87 - Imagen de la composición del MACOR

14. Catálogos

Nombre del material:
Código de vidrio 9658
Vidrio-Cerámico maquinable MACOR

Sección 1 - Producto químico e identificación de la empresa

Nombre del producto: 9658

Uso del producto: Se utiliza en la fabricación de artículos de vidrio.

Sinónimos: GC 9658, MACOR MGC

Datos del fabricante

Corning Incorporated

Cornihg, NY 14831, USA - Teléfono: +1 607 974 9000

Sección 2 - Composición/Información de los ingredientes

Nº CAS	Porcentaje	Ingrediente
7440-21-3	Silicio	<30
7429-90-5	Aluminio	<10
7439-95-4	Magnesio	<10
16984-48-8	Fluoruro	<10
7440-42-8	Boro	<5

Información reguladora referente a los componentes

Este producto puede estar regulado, tener límites de exposición y otros datos que se identifican como sigue: Aluminio (7429-90-5).

Datos de los componentes/Datos de los componentes no peligrosos

El vidrio-cerámico es un material sólido que se obtiene combinando varias materias primas (p.ej. óxidos, carbonatos, etc.), fundiendo los componentes y enfriándolos a un estado sólido no cristalino con sus características propias. Este material contiene los materiales anteriormente especificados. Los demás componentes son inertes.

Sección 3 - Identificación de peligros

Medidas de urgencia

Éste es un material sólido, incombustible, no reactante. Se suministra en forma de barra, varilla u hoja de vidrio-cerámico. Se deben emplear métodos contra incendios adecuados. La exposición al polvo puede irritar los ojos, nariz y garganta. A niveles de exposición muy altos, el polvo puede afectar los pulmones. Los elementos metálicos que contiene el vidrio pueden quedar biodisponibles si se ingieren o inhalan.

Exposición de riesgos

El polvo o los polvos pueden irritar los ojos, la piel, el sistema respiratorio y el tracto gastrointestinal..

Riesgos para la salud: Ojos

El polvo o los polvos pueden irritar el tejido ocular. El restregamiento puede causar una abrasión de la córnea. Los síntomas pueden incluir irritación, rojez, lesión de la córnea y laceración..

Riesgos para la salud: Piel

El polvo o los polvos pueden irritar la piel. El frotamiento mecánico puede aumentar la irritación de la piel. No se han descrito casos de absorción de los componentes de este productos por la piel.

Riesgos para la salud: Ingestión

Puede causar una irritación pasajera de la garganta, estómago y tracto gastrointestinal.

Riesgos para la salud: Inhalación

Los polvos de este producto pueden irritar la nariz, garganta y las vías respiratorias. Cuando se inhala en grandes cantidades puede causar una afección pulmonar.

Clasificación HNIS: Salud: 0 Incendio: 0 Reactividad: 0 Protección personal.: Guantes/gafas

Escala de peligros: 0 = Mínimo 1 = Leve 2 = Moderado 3 = Grave 4 = Muy grave * = Peligro crónico

14. Catálogos

Sección 9 - Propiedades físicas y químicas

Color:	Blanco	Olor:	Inodoro
Estado físico:	Vidrio-cerámico sólido	pH	No se aplica
Presión del vapor:	No se aplica	Densidad del vapor:	No se aplica
Punto de ebullición:	No se aplica	Punto de fusión:	No disponible
Solubilidad (H ₂ O):	No se aplica	Densidad relativa:	2,25 gm/cm ³
Punto de congelación	No se aplica	Tamaño de partícula:	No se aplica
Temperatura de reblandecimiento:			
evaporación:	>800°C	Velocidad de	No se aplica
Viscosidad:	No se aplica	Densidad aparente:	No se aplica
Porcentaje volatilidad:	No se aplica	Peso molecular:	No se aplica
Propiedades físicas: Información adicional			
No se dispone de datos..			

14. Catálogos

Properties

I. Thermal

	SI/Metric	English
Coefficient of Expansion		
-200 - 25°C	$74 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$	$41 \times 10^{-7} / ^\circ\text{F}$
25 - 300°C	$93 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$	$52 \times 10^{-7} / ^\circ\text{F}$
25 - 600°C	$114 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$	$63 \times 10^{-7} / ^\circ\text{F}$
25 - 800°C	$126 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$	$70 \times 10^{-7} / ^\circ\text{F}$
Specific Heat, 25°C	.79 KJ/kg°C	0.19 Btu/lb°F
Thermal Conductivity, 25°C	1.46 W/m°C	$10.16 \frac{\text{Btu in}}{\text{hr ft}^2 \text{F}}$
Thermal Diffusivity, 25°C	$7.3 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$	$0.028 \text{ft}^2/\text{hr}$
Continuous Operating Temperature	800°C	1472°F
Maximum No Load Temperature	1000°C	1832°F

II. Mechanical

	SI/Metric	English
Density	2.52 g/cm ³	157 lbs/ft ³
Porosity	0%	0%
Young's Modulus, 25°C (Modulus of Elasticity)	66.9 GPa	$9.7 \times 10^6 \text{psi}$
Poisson's Ratio	0.29	0.29
Shear Modulus, 25°C	25.5 GPa	$3.7 \times 10^6 \text{psi}$
Hardness, Knopp, 100g Rockwell A	250 48	250 48
Modulus of Rupture, 25°C (Flexural Strength)	94 MPa (minimum specified average value)	13,600 psi
Compressive strength	345 MPa	50,000 psi
Fracture Toughness	$1.53 \text{MPa m}^{0.5}$	$1,390 \text{psi in}^{0.5}$

III. Electrical

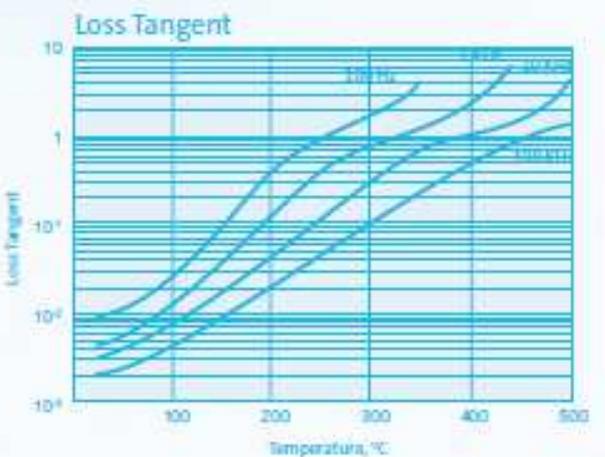
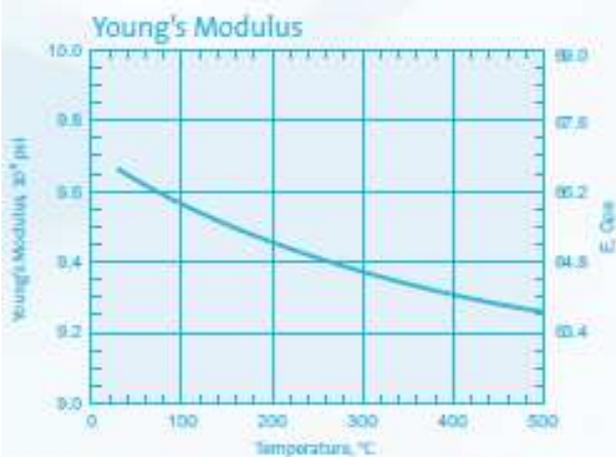
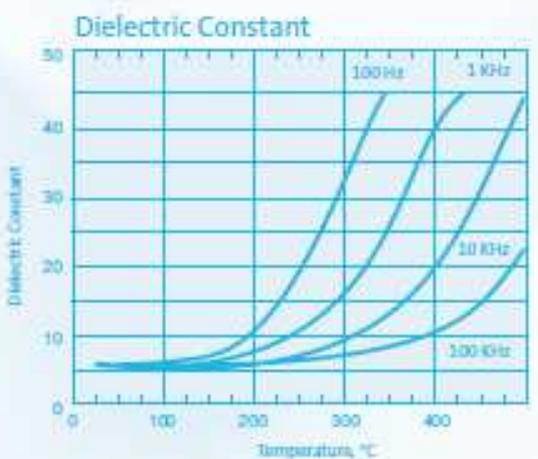
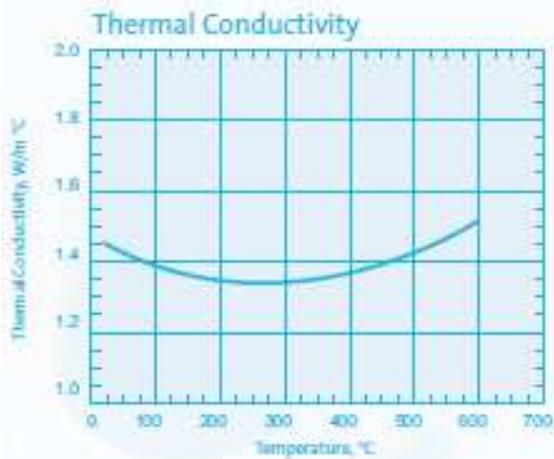
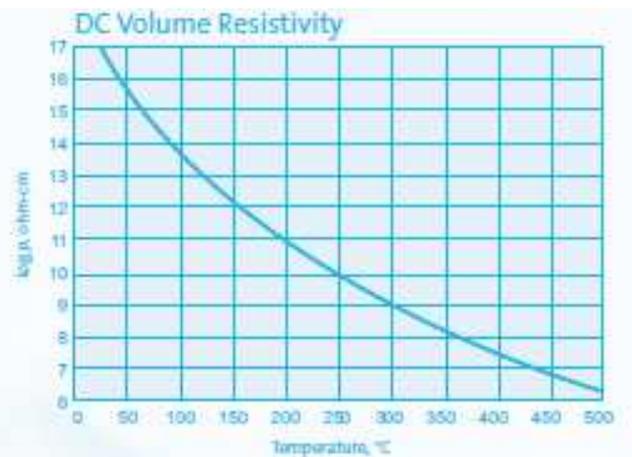
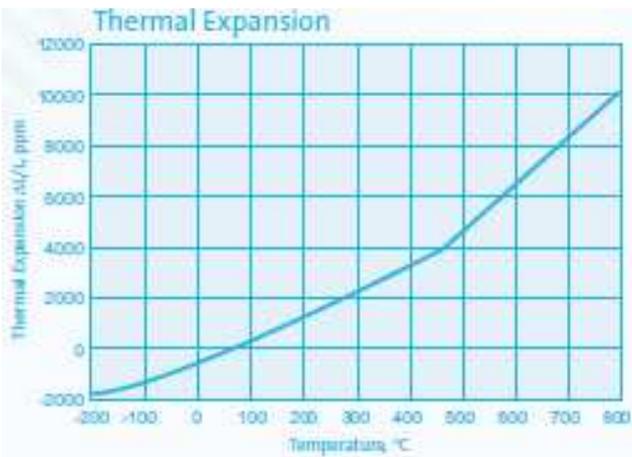
	SI/Metric	English
Dielectric Constant, 25°C		
1 KHz	6.03	6.03
8.5 GHz	5.67	5.67
Loss Tangent, 25°C		
1 KHz	4.7×10^{-3}	4.7×10^{-3}
8.5 GHz	7.1×10^{-3}	7.1×10^{-3}
Dielectric Strength (AC) avg. (at 12 mil thickness and 25°C)	9.4 KV/mm	785 V/mil
Dielectric Strength (DC) avg. (at 12 mil thickness and 25°C)	62.4 KV/mm	5206 V/mil
DC Volume Resistivity, 25°C	$>10^{16} \text{ohm-cm}$	$>10^{16} \text{ohm-cm}$

IV. Chemical

	Tests			Results
	pH	Time	Temp.	Weight Loss (mg/cm ²) Gravimetric
Solution				
5% HCL (Hydrochloric Acid)	0.1	24 hrs.	95°C	- 100
0.002 N HNO ₃ (Nitric Acid)	2.8	24 hrs.	95°C	- 0.6
0.1 N NaHCO ₃ (Sodium Bicarbonate)	8.4	24 hrs.	95°C	- 0.3
0.02 N Na ₂ CO ₃ (Sodium Carbonate)	10.9	6 hrs.	95°C	- 0.1
5% NaOH (Sodium Hydroxide)	13.2	6 hrs.	95°C	- 10
Resistance to water over time				
H ₂ O	7.6	1 day*	95°C	0.01
		3 days*	95°C	0.07
		7 days*	95°C	9.4
		3 days**	95°C	0.06
		6 days**	95°C	0.11

*Water not refreshed daily
**Water refreshed daily

14. Catálogos



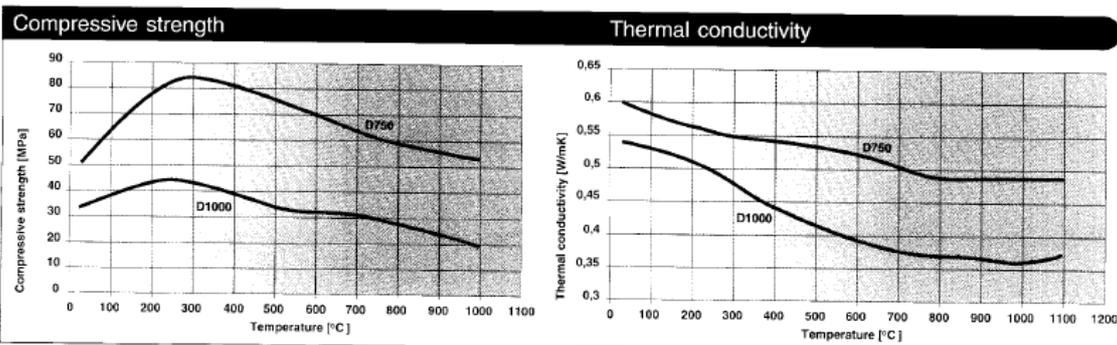
14. Catálogos

14.3. Cerámica DURATEC



Ilustración 88 - Imagen de piezas de DURATEC

Properties	Units	1000	750	A
Mechanical properties				
Bulk density	kg/m ³	1350	1400	1300
Flexural strength	MPa	18	23	25
Hardness	[Shore D]	70	80	85
Compressive strength	MPa	31	55	83
Thermal properties				
Maximum service temperature	°C	1000	1000	1000
Thermal conductivity (at 750°C)	W/mK	0,37	0,49	0,49
Shrinkage	length, width/thickness (750°C/12 hrs.)	%	0,12/0,8	0,05/0,65
	length, width/thickness (1000°C/12 hrs.)	%	0,15/1,0	0,25/2,3
Loss on ignition	%	5,3	7,3	3,3
Coefficient of thermal expansion (100-750°C)	K ⁻¹	6,4×10 ⁻⁶	6,6×10 ⁻⁶	6,6×10 ⁻⁶
Electrical properties				
Flatwise electrical strength	KV/m	4700	7300	6100
Arc resistance, stage 40 (40 mA)	s	> 420	> 420	> 420
Volume resistivity	25°C	Ωcm	7,5×10 ⁹	9×10 ⁹
	600°C	Ωcm	3,1×10 ⁸	1×10 ¹⁰
Surface resistivity	25°C	Ω	4,1×10 ¹⁰	10×10 ¹¹
	600°C	Ω	3,9×10 ⁹	7×10 ⁹
Relative permittivity	25°C		4,68	7,6
	600°C		3,98	21
Dissipation factor (tan δ [10 ⁻¹])	25°C		636	250
	at 600°C		513	400
Comparative tracking index		600	> 500	> 500
Chemical analysis				
Calcium silicate	%	93,8	91,5	95,5
R _x O _x	%	0,9	1,2	1,2



14. Catálogos

14.4. Tubos Capilares

Tubos capilares de precisión en acero inoxidable

Barra y rollo
Bar and coil format

Barra / Bar

MEDIDA mm <i>Size mm</i> ∅ EXT x PARED ∅ Ext x wall	MEDIDA mm <i>Size mm</i> ∅ INTERIOR ∅ Interior	CALIDAD <i>Quality</i>	TRATAMIENTO <i>Treatment</i>	PESO Kg/mt <i>Weight kg/MT</i>
0.4 x 0.12	0.16	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0008
0.5 x 0.12	0.26	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0011
0.6 x 0.15	0.30	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0017
0.7 x 0.15	0.40	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0021
0.8 x 0.15	0.50	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0025
0.9 x 0.15	0.60	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0028
1.0 x 0.15	0.70	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0032
1.1 x 0.15	0.80	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0036
1.2 x 0.20	0.80	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0050
1.3 x 0.15	1.00	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0043
1.4 x 0.15	1.10	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0047
1.5 x 0.15	1.20	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0051
1.6 x 0.19	1.22	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0068
1.65 x 0.25	1.15	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0088
1.7 x 0.15	1.40	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0058
1.8 x 0.20	1.40	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0080
2.0 x 0.20	1.60	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0090
2.0 x 0.25	1.50	AISI-316L	DURO/ <i>Hard</i>	0.0110
2.0 x 0.50	1.00	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0188
2.2 x 0.25	1.70	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0123
2.5 x 0.25	2.00	AISI-304 y 316L	DURO/ <i>Hard</i>	0.0140
2.5 x 0.50	1.50	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0251
2.6 x 0.20	2.20	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0120
3.0 x 0.25	2.50	AISI-304 y 316L	DURO/ <i>Hard</i>	0.0170
3.0 x 0.50	2.00	AISI-304 y 316	DURO/ <i>Hard</i>	0.0310
3.5 x 0.25	3.00	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0204
3.5 X 0.80	1.90	AISI-316	DURO/ <i>Hard</i>	0.0543
4.0 x 0.25	3.50	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0240
4.0 x 0.30	3.40	AISI-304 y 316	Recocido/ <i>Annealed</i>	0.0280
4.0 x 0.50	3.00	AISI-304 y 316	DURO/ <i>Hard</i>	0.0440
4.0 X 1.0	2.00	AISI-316	DURO/ <i>Hard</i>	0.0754
4.25 x 0.25	3.75	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0250
4.5 x 0.25	4.00	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0267
4.7 x 0.25	4.20	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0280
5.0 x 0.25	4.50	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0298
5.0 x 0.30	4.40	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0354
5.0 x 0.50	4.00	AISI-316	DURO/ <i>Hard</i>	0.0565
6.0 x 0.25	5.50	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0361
6.0 x 0.50	5.00	AISI-304 y 316	DURO/ <i>Hard</i>	0.0440
7.0 x 0.25	6.50	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0424
7.0 x 0.50	6.00	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0817
8.0 x 0.25	7.50	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0487
8.0 x 0.50	7.00	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0943
9.0 x 0.30	8.40	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.0656
9.0 x 0.50	8.00	AISI-304	DURO/ <i>Hard</i>	0.1068

14. Catálogos

14.5. Otros productos:

14.5.1 Masilla refractaria



Ilustración 89 - Imagen de la masilla refractaria

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:

- Envase: 300ml.
- Color: Crema.
- Soporta temperaturas extremas; de -10°C a 1500°C.
- No contiene amiantos.

14.5.2. Termopar

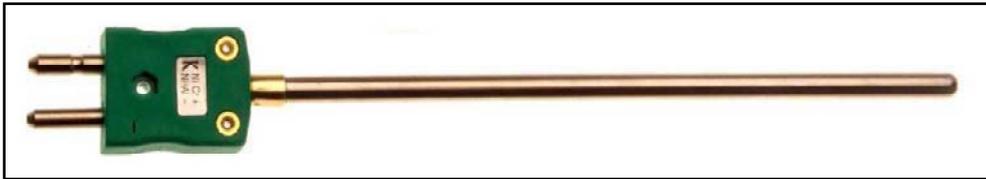


Ilustración 90 -Imagen de un termopar

- Mineral insulated Type 'K' Thermocouple
- 310 stainless steel sheath
- Highly flexible, sheath can be bent/formed to suit many applications and processes
- Choice of 1.5, 3.0 or 6.0mm diameters
- Insulated hot junction
- Probe temperature range -40°C up to +1100°C
- Standard plug termination (200°C)
- Conforms to IEC 584 specification

Specifications

Sensor type:	Type 'K' with Nickel Chromium/Nickel Aluminium conductors
Construction:	Flexible mineral insulated probe, 310 stainless steel sheath & standard plug termination
Sheath composition:	310 stainless steel (25/20 chromium nickel steel)
Element/hot junction:	Single element, junction insulated from sheath in order to prevent electrical noise & interference
Termination:	Standard round pin plug, colour coded 'green' in accordance IEC 584-3
Reference Tables/Tolerance:	In accordance with IEC 584-1&2
Probe temperature range:	-40°C to +1100°C
Plug temperature range:	200°C

14. Catálogos

14.5.3. Amperímetro 800-S



Current Transducer HAT 200 .. 1500-S

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed,...., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.

$$I_{PN} = 200 \dots 1500 \text{ A}$$

$$V_{out} = \pm 4 \text{ V}$$

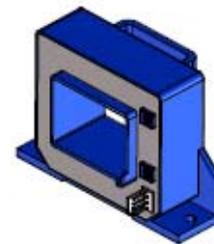


RoHS

Electrical data

Type	Primary nominal rms current I_{PN} (A)	Primary current, measuring range ¹⁾ I_{PM} (A)	RoHS since date code
HAT 200-S	200	± 600	47143
HAT 400-S	400	± 1200	46115
HAT 500-S	500	± 1500	46129
HAT 600-S	600	± 1800	46115
HAT 800-S	800	± 2400	46115
HAT 1000-S	1000	± 2500	46097
HAT 1200-S	1200	± 2500	77271
HAT 1500-S	1500	± 2500	46158

U_C	Supply voltage ($\pm 5\%$) ¹⁾	± 15	V
I_C	Current consumption	± 15	mA
R_{is}	Insulation resistance @ 500 V DC	> 1000	M Ω
V_{out}	Output voltage (Analog) @ $\pm I_{PN}$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 4	V
R_{out}	Output internal resistance	100	Ω
R_L	Load resistance	> 10	k Ω



Features

- Hall effect measuring principle
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Easy installation
- Low power consumption
- Small size and space saving
- Only one design for wide current ratings range
- High immunity to external interference.

Applications

- DC motor drives
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- AC variable speed drives
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Battery supplied applications
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (excluding offset)	$\leq \pm 1$	% of I_{PN}
ϵ_L	Linearity error ²⁾ ($0 \dots \pm I_{PN}$)	$\leq \pm 1$	% of I_{PN}
V_{OE}	Electrical offset voltage @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$< \pm 20$	mV
V_{OH}	Hysteresis offset voltage @ $I_p = 0$, after an excursion of $1 \times I_{PN}$	$< \pm 10$	mV
TCV_{OE}	Temperature coefficient of V_{OE}	-40 °C .. +80 °C $< \pm 1$ +80 °C .. +105 °C $< \pm 1.5$	mV/K mV/K
TCV_{out}	Temperature coefficient of V_{out} (% of reading)	$< \pm 0.1$	%/K
t_r	Step response time to 90 % of I_{PN}	< 5	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/ μs
BW	Frequency bandwidth ³⁾ (-3 dB)	DC .. 25	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	-40 .. +105	°C
T_S	Ambient storage temperature	-40 .. +105	°C
m	Mass	300	g
	Standards	EN 50178: 1997 UL 508: 2010 ⁴⁾	

Notes: ¹⁾ Operating at $\pm 12 \text{ V} \leq U_C < \pm 15 \text{ V}$ will reduce the measuring range

²⁾ Linearity data exclude the electrical offset

³⁾ Please refer to derating curves in the technical file to avoid excessive core heating at high frequency

⁴⁾ UL conform is only applicable @ $T_A = -40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$.

N° 64.02.44.000.0, N° 64.02.48.000.0, N° 64.02.50.000.0, N° 64.02.52.000.0

N° 64.02.56.000.0, N° 64.02.60.000.0, N° 64.02.62.000.0, N° 64.02.65.000.0

9January2014/version 21

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without prior notice

Page 1/3

www.lem.com

14. Catálogos



Current Transducer HAT 200 .. 1500-S

Insulation coordination

U_d	Rms voltage for AC insulation test, 50 Hz, 1 min	4.9	kV
U_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	> 9.9	kV
		Min	
d_{cp}	Creepage distance	11	mm
d_{cl}	Clearance	11	mm
CTI	Comparative tracking index (group IIIa)	275	

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category III
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
d_{cp}, d_{cl}, U_w	Rated insulation voltage	Nominal voltage
Basic insulation	1100 V	1100 V
Reinforced insulation	550 V	550 V

Safety

This transducer must be used in limited-energy secondary circuits according to IEC 61010-1.



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

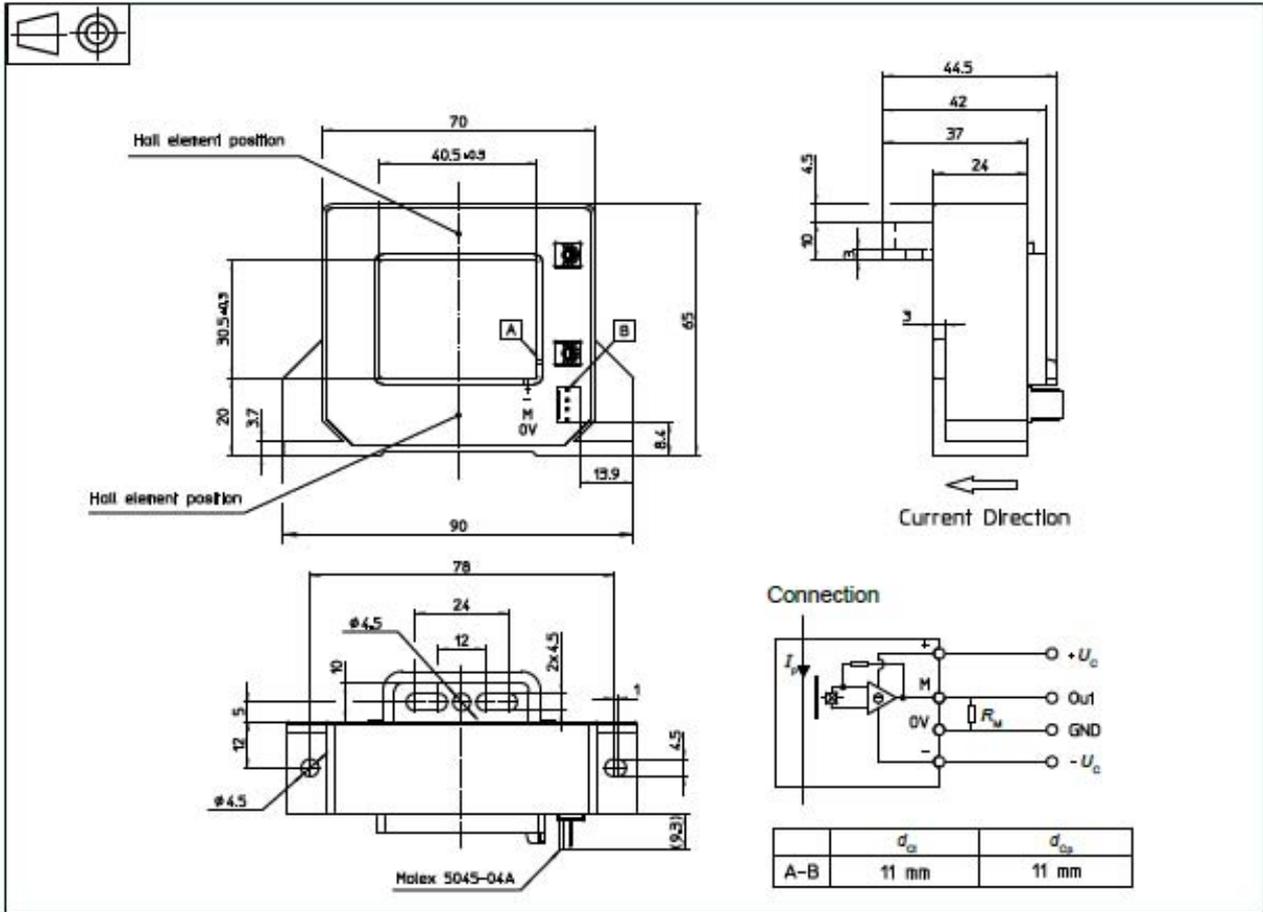
A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.

14. Catálogos



Dimensions HAT 200 .. 1500-S (in mm)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 1 mm
- Transducer fastening By base-plate or on busbar with M4 screws
- Recommended fastening torque 1.2 N-m (± 10 %)
- Connection of secondary Molex 5045-04A

Remarks

- V_{out} is positive when I_p flows in the direction of the arrow.
- Temperature of the primary conductor should not exceed 105 °C.
- Installation of the transducer must be done unless otherwise specified on the datasheet, according to LEM Transducer Generic Mounting Rules. Please refer to LEM document N°ANE120504 available on our Web site: [Products/Product Documentation](http://www.lem.com).

14. Catálogos

14.6. Sales



Ilustración 91 - Nitrato potásico (izquierda) nitrito de sodio (Derecha)

Nombre	Punto de fusión(°C)	Limite de estabilidad	Composición fracción molar, %			
			NaNO ₃	KNO ₃	LiNO ₃	Ca(NO ₃) ₂
HITEC HTS	142	450-538	7	44	-	49
Sal Solar	221	600	50	50	-	-
Quaternary, 15%mol Ca(NO ₃) ₂ (Q-15Ca)	90	500	15	45	25	15

Tabla 11 - Composiciones, punto de fusión y estabilidad de las sales

Nombre	Densidad(g/cc)	Viscosidad(cP)
HITEC HTS	$2.084-7.40E-4 \cdot T(^{\circ}C)$	$T(^{\circ}C)^2-2.104 \cdot 10^5.7374$
Sal Solar	$2.074-6.36E-4 \cdot T(^{\circ}C)$	$22.714-0.12 \cdot T(^{\circ}C)+2.28E-4 \cdot T(^{\circ}C)^2-1.474E-7 \cdot T(^{\circ}C)$
Quaternary, 15%mol Ca(NO ₃) ₂ (Q-15Ca)	$2.1697-8.22E-4 \cdot T(^{\circ}C)$	$10^{(-0.044715)} \cdot 10^{(266.8/(T(^{\circ}C)+1.8703))}$

Tabla 12 - Densidades y viscosidad de las sales

14. Catálogos

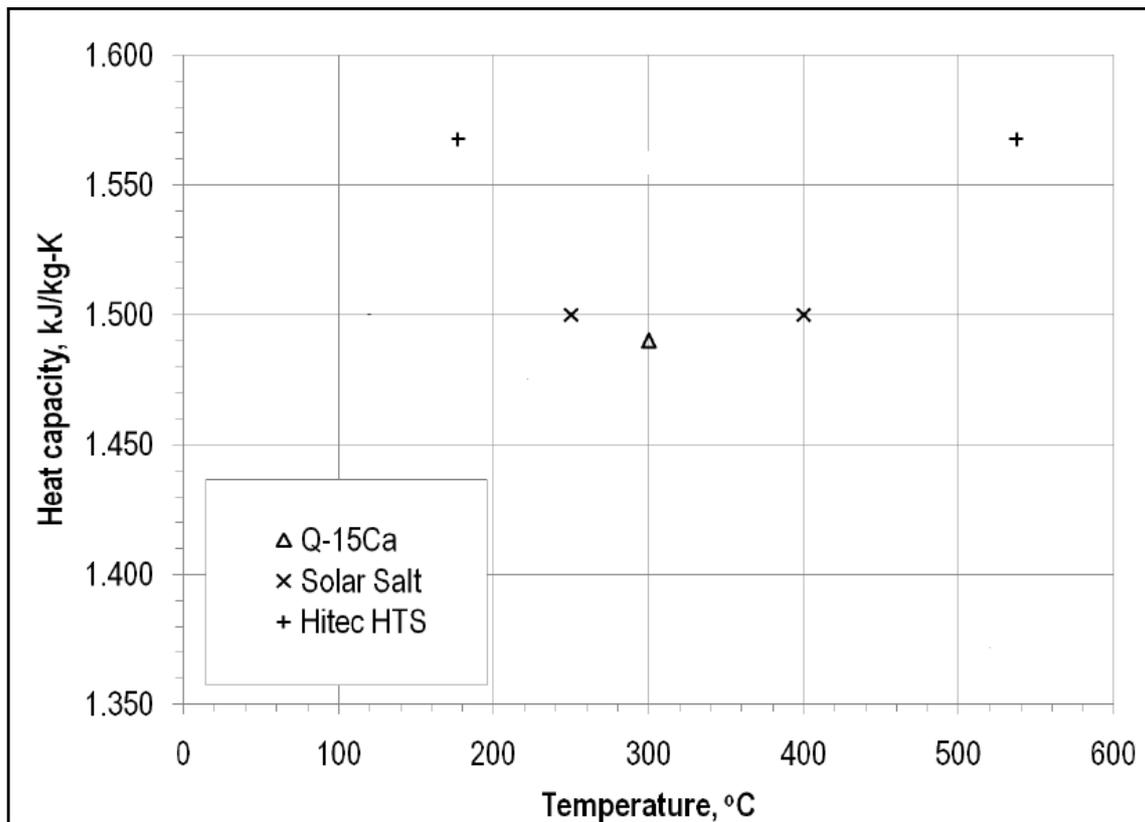


Ilustración 92 - Grafico de los Cp en función de la temperatura de las sales

Nombre	Conductividad térmica(W/mK)
HITEC HTS	$0.411+1.54E-6 \cdot T(^{\circ}C)^2+4.36E-4 \cdot T(^{\circ}C)$
Sal Solar	$0.547-3.13E-4 \cdot T(^{\circ}C)$
Quaternary, 15%mol $Ca(NO_3)_2$ (Q-15Ca)	$4.98E-4 \cdot T(^{\circ}C)+0.398$

Tabla 13 - Tabla de conductividad de las sales

14. Catálogos

14.7. Calentadores de banda Watlow



Ilustración 93 - Imagen de un calentador de banda

Producto	Materiales de la vaina	Temperaturas máximas de funcionamiento		Densidad de potencia máxima	
		°F	°C	W/in ²	W/cm ²
Con aislamiento mineral	Acero inoxidable	1400	760	100	15.5

Tabla 14 - Propiedades del calentador de banda

14. Catálogos

14.8. Calentadores de cartucho Watlow

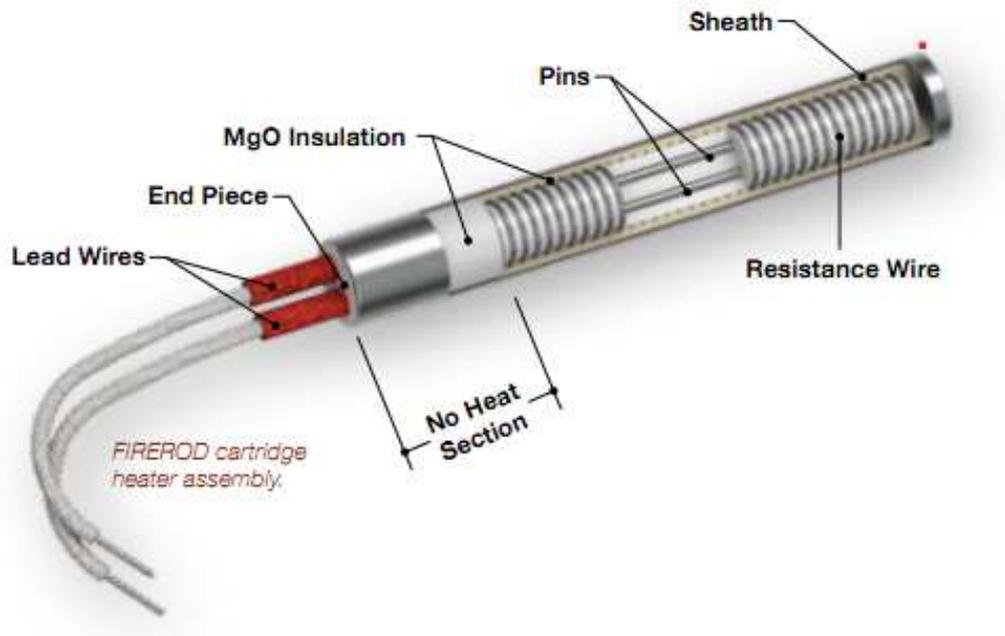


Ilustración 94 - Imagen de un calentador de cartucho

°Producto	Materiales de la vaina	Temperaturas máximas de funcionamiento		Densidad de potencia máxima	
		°F	°C	W/in ²	W/cm ²
FIREROD	Incoloy®	1400	760	400	62
	Acero inoxidable	1000	538	400	62

Tabla 15 - Propiedades del calentador de cartucho

PRESUPUESTO

ÍNDICE DE PRESUPUESTO

ÍNDICE DE PRESUPUESTO	149
15. PRESUPUESTO	151
15.1. Componentes principales.....	151
15.2. Material eléctrico	151
15.3. Componentes de control y medida.....	151
15.4. Personal.....	152
15.5. Otros.....	152
15.6. Comparativa frente a un DSC comercial	152
15.7. Viabilidad económica	153

15. Presupuesto

15. PRESUPUESTO

15.1. Componentes principales

Concepto	Precio	Cantidad	Importe
Varilla de Cerámica de Vidrio Maquinable, Macor 100mm x 25mm diam	120,71 €	1	120,71 €
Varilla de Cerámica de Vidrio Maquinable, Macor 100mm x 6mm diam	38,80 €	1	38,80 €
Varilla de aislamiento térmico de Silicio de Calcio Duratec 750, 300mm x 50mm	109,45 €	1	109,45 €
Tubos Capilares 6mmx0.25/7mmx0.25/8mmx0.25	140,00 €	10	1.400,00 €
Subtotal			1.668,96 €

Tabla 16 - Desglose de precios de los componentes principales

15.2. Material eléctrico

Concepto	Precio	Cantidad	Importe
Componente Eléctricos	20,00 €	1	20,00 €
Fuente de alimentación (40A)	136,10 €	1	136,10 €
Subtotal			156,10 €

Tabla 17 -Desglose de precios del material eléctrico

15.3. Componentes de control y medida

Concepto	Precio	Cantidad	Importe
Sistema de adquisición Agilent 34972A	2.106,00 €	1	2.106,00 €
Multiplexor de 20 canales Agilent 34901A	394,00 €	1	394,00 €
Termopar tipo K con clavija 1.5 x 150mm	23,69 €	7	165,83 €
Clavija macho	7,77 €	7	54,39 €
Cable termopar	10,00 €	7	70,00 €
Subtotal			2.790,22 €

Tabla 18 - Desglose de precios de los componentes de control y medida

15. Presupuesto

15.4. Personal

Concepto	Precio	Cantidad	Importe
Mecanizado 8h	10,51 €	8	84,08 €
Montaje 2h	5,44 €	2	10,88 €
Ensayos (2h por ensayo 3h primer ensayo(4 ensayos 3 muestras)	5,44 €	36	195,84 €
Procesado de datos	5,44 €	4	21,76 €
Subtotal			312,56 €

Tabla 19 -Desglose de precios del personal

15.5. Otros

Concepto	Precio	Cantidad	Importe
Materiales pequeños	50,00 €	1	50,00 €
Herramientas y equipos	250,00 €	1	250,00 €
Subtotal			300,00 €

Tabla 20 - Desglose de precios de otros gastos

PRESUPUESTO TOTAL: 5.227,84€

15.6. Comparativa frente a un DSC comercial

En este apartado se hará una comparativa del sistema fabricado frente a un DSC comercial mirando desde un punto de vista económico, precisión, funcional y montaje.

El presupuesto del proyecto son 5.227,84 € incluyendo el precio de varios ensayos de sales; y el de un DSC comercial son 30.000€ resultando este unas 5 veces más caro, aunque hay que tener en cuenta que el sistema fabricado, la cerámica tiene una vida relativamente corta así que cada cierto tiempo requiere cambiar la vasija que eso rondara un coste aproximado de 200€, considerando esto como un recambio aun así con la diferencia de precio inicial se podría permitir cambiarlo más de 100 veces siendo aun así sustancialmente más barato.

Respecto al montaje, el DSC comercial necesita una compleja instalación con vacío, empleo de gases,... el sistema fabricado en cambio tiene una instalación muy simple con un ordenador y una toma de corriente tiene suficiente además del espacio que ocupa es bastante reducido.

15. Presupuesto

A nivel funcional, el DSC comercial trabaja con cantidades que rondan los 0.01g frente a los 50g que puede albergar el sistema, cosa que al tener mayores cantidades se acerca más a la realidad ya que estas sales se emplean con cantidades de toneladas

Por lo que respecta a la precisión, el DSC comercial trabaja con una precisión que ronda el $\pm 5\%$, el sistema fabricado tiene una precisión del $\pm 20\%$ aunque el valor no sea exacto, para hacernos una estimación del C_p y poder compararlo entre sales nos vale.

Viendo todos estos puntos el sistema fabricado sí que es viable fabricarlo ya que se logra unas características que el DSC comercial no las tiene por un precio bastante menor

15.7. Viabilidad económica

Como ha sido un montaje de investigación, financiado por el departamento de mecánica de fluidos de la Universitat Jaume I, no es necesario incluir un estudio sobre su viabilidad económica.

PROGRAMA DE PROCESADO

ÍNDICE DE PROGRAMA DE PROCESADO

ÍNDICE DE PROGRAMA DE PROCESADO	157
16. PROGRAMA DE PROCESADO	159
16.1. Programa de Matlab de cálculo del Cp	159
16.2. Función calculo de pendiente	167

16. PROGRAMA DE PROCESADO

16.1. Programa de Matlab de cálculo del Cp

El programa de matlab empleado para el cálculo de la capacidad calorífica, el error de la sal para los tres ciclos es:

```
clc
close all
clear all

colors={ [1 0 0]; [0.5 0 0]; [0 1 0]; [0 0.66 0]; [0 0.33 0]; [0 0 1]; [0 0
0.66]; [0 0 0.33]; [0 0 0] };

%% Ecuaciones

% Calentamiento
%  $m * cp * dT/dt_C = \beta * V * I - W_{perd}$ 
%
% Enfriamiento
%  $m * cp * dT/dt_E = - W_{perd}$ 
%
% Despejamos cp:
%
%  $cp = (\beta * V * I) / (m * (dTdt_C - dTdt_E))$ 

%% Parámetros
T=200; % Temperatura
beta=0.55; % Eficiencia en calentamiento
m=57; % Masa
iLocation=7;

locations
= {'pared_{arriba}', 'pared_{abajo}', 'tapa_{cerca}', 'tapa_{medio}', 'tapa
_{lejos}', 'culo_{cerca}', 'culo_{medio}', 'culo_{lejos}', 'Tubo'};

%% Carga archivos y curvas

fileNameCal='C:\Users\Alfredo\Desktop\Ensayos\Sal
HITEC\CalentamientoConLana_25_2014_15_41_04\2014-6-25_15-41-4 Scan
List A Instr1.csv';
fileNameEnf='C:\Users\Alfredo\Desktop\Ensayos\Sal
HITEC\EnfriamientoConLana_25_2014_16_22_50\2014-6-25_16-22-51 Scan
List A Instr1.csv';

fileNameCal2='C:\Users\Alfredo\Desktop\Ensayos\Sal
HITEC\CalentamientoConLana2_26_2014_10_25_08\2014-6-26_10-25-8 Scan
List A Instr1.csv';
fileNameEnf2='C:\Users\Alfredo\Desktop\Ensayos\Sal
HITEC\EnfriamientoConLana2_26_2014_11_05_15\2014-6-26_11-5-15 Scan
List A Instr1.csv';
```

16. Programa de Procesado

```
fileNameCal3='C:\Users\Alfredo\Desktop\Ensayos\Sal
HITEC\CalentamientoConLana3_26_2014\2014-6-26_17-26-14 Scan List A
Instr1.csv';
fileNameEnf3='C:\Users\Alfredo\Desktop\Ensayos\Sal
HITEC\EnfriamientoConLana3_26_2014\2014-6-26_18-6-36 Scan List A
Instr1.csv';

orders={3,4,5,6,7,11,12,13,14};

[A,B,C]=xlsread(fileNameCal);
Cal=A(34:end,:);

I=Cal(:,9);
V=Cal(:,10);

[A,B,C]=xlsread(fileNameEnf);

Enf=A(34:end,:);

tC=1:size(Cal,1);

figure(1)
for i=1:length(orders)
plot(tC,Cal(:,orders{i}), 'Color', colors{i});
hold on
end

legend(locations)

tE=1:size(Enf,1);

figure(2)
for i=1:length(orders)
plot(tE,Enf(:,orders{i}), 'Color', colors{i});
hold on
end

legend(locations)

%Calculo de Cp para T

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),T,0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),T,0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

Cp=beta*P / (m*(dTdtCal-dTdtEnf))

%Para el calculo del error para T

dP=(beta/(m*(solCal(1)-solEnf(1)))));
EP=5.6;
```

16. Programa de Procesado

```
dm=(-(beta*42*0.7)/(m^2*(solCal(1)-solEnf(1))));
Em=1;
dsolCal=(-(beta*42*0.7)/(m*solCal(1)^2));
EsolCal=2E-5;
dsolEnf=(-(beta*42*0.7)/(m*solEnf(1)^2));
EsolEnf=2E-5;

Error=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2)
PorcentageE=Cp+Error/Cp*100
%Para ver la contribucion de cada termino al error

ErrorP=(dP*EP)^2/Error^2*100
Errorm=(dm*Em)^2/Error^2*100
Errormcal=(dsolCal*EsolCal)^2/Error^2*100
Errormenf=(dsolEnf*EsolEnf)^2/Error^2*100

% Calculo del Cp(T)

Sol=[90:1:110]; % Rango de temperaturas de solido
Liq=[180:1:220]; % Rango de temperaturas de liquido
CpSol=ones(1,length(Sol));
CpLiq=ones(1,length(Liq));
ErrorSol=ones(1,length(Sol));
ErrorLiq=ones(1,length(Liq));

for i=1:length(Sol)

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),Sol(i),0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),Sol(i),0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

CpSol(i)=beta*P/(m*(dTdtCal-dTdtEnf));

ErrorSol(i)
=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2);

end

for j=1:length(Liq)

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),Liq(j),0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),Liq(j),0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

CpLiq(j)=beta*P / (m*(dTdtCal-dTdtEnf));
```

16. Programa de Procesado

```
ErrorLiq(j)
=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2);
end

%Representar el Cp(T) con el error

figure(3) %Grafico para solido
hold on
errorbar(Sol,CpSol,ErrorSol,'og')

figure(4) %Grafico para liquido
hold on
errorbar(Liq,CpLiq,ErrorLiq,'og')

%Ensayo 2
%-----%
orders={3,4,5,6,7,11,12,13,14};

[A,B,C]=xlsread(fileNameCal2);
Call=A(34:end,:);

I=Cal(:,9);
V=Cal(:,10);

[A,B,C]=xlsread(fileNameEnf2);

Enf=A(34:end,:);

tC=1:size(Cal,1);

figure(5)
for i=1:length(orders)
plot(tC,Cal(:,orders{i}),'Color',colors{i});
hold on
end

legend(locations)

tE=1:size(Enf,1);

figure(6)
for i=1:length(orders)
plot(tE,Enf(:,orders{i}),'Color',colors{i});
hold on
end

legend(locations)

%Calculo de Cp para T

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),T,0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),T,0,20);
```

16. Programa de Procesado

```
dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

Cp2=beta*P / (m*(dTdtCal-dTdtEnf))

%Para el calculo del error para T

dP=(beta/(m*(solCal(1)-solEnf(1))));
EP=5.6;
dm=(-(beta*42*0.7)/(m^2*(solCal(1)-solEnf(1))));
Em=1;
dsolCal=(-(beta*42*0.7)/(m*solCal(1)^2));
EsolCal=2E-5;
dsolEnf=(-(beta*42*0.7)/(m*solEnf(1)^2));
EsolEnf=2E-5;

Error2=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(
1/2)
PorcentageE2=Cp+Error/Cp*100
%Para ver la contribucion de cada termino al error

ErrorP2=(dP*EP)^2/Error^2*100
Errorm2=(dm*Em)^2/Error^2*100
Errormcal2=(dsolCal*EsolCal)^2/Error^2*100
Errormenf2=(dsolEnf*EsolEnf)^2/Error^2*100

% Calculo del Cp(T)

CpSol2=ones(1,length(Sol));
CpLiq2=ones(1,length(Liq));
ErrorSol2=ones(1,length(Sol));
ErrorLiq2=ones(1,length(Liq));

for i=1:length(Sol)

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),Sol(i),0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),Sol(i),0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

CpSol2(i)=beta*P/(m*(dTdtCal-dTdtEnf));

ErrorSol2(i)
=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2);

end

for j=1:length(Liq)

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),Liq(j),0,20);
```

16. Programa de Procesado

```
solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),Liq(j),0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

CpLiq2(j)=beta*P / (m*(dTdtCal-dTdtEnf));

ErrorLiq2(j)
=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2);
end

%Representar el Cp(T) con el error

figure(3) %Grafico para solido
hold on
errorbar(Sol,CpSol2,ErrorSol2,'or')

figure(4) %Grafico para liquido
hold on
errorbar(Liq,CpLiq2,ErrorLiq2,'or')

%Ensayo 3
%-----%
orders={3,4,5,6,7,11,12,13,14};

[A,B,C]=xlsread(fileNameCal3);
Call=A(34:end,:);

I=Cal(:,9);
V=Cal(:,10);

[A,B,C]=xlsread(fileNameEnf3);

Enf=A(34:end,:);

tC=1:size(Cal,1);

figure(7)
for i=1:length(orders)
plot(tC,Cal(:,orders{i}),'Color',colors{i});
hold on
end

legend(locations)

tE=1:size(Enf,1);

figure(8)
for i=1:length(orders)
plot(tE,Enf(:,orders{i}),'Color',colors{i});
hold on
end
```

16. Programa de Procesado

```
legend(locations)

%Calculo de Cp para T

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),T,0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),T,0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

Cp3=beta*P / (m*(dTdtCal-dTdtEnf))

%Para el calculo del error para T

dP=(beta/(m*(solCal(1)-solEnf(1)))));
EP=5.6;
dm=(-(beta*42*0.7)/(m^2*(solCal(1)-solEnf(1)))));
Em=1;
dsolCal=(-(beta*42*0.7)/(m*solCal(1)^2));
EsolCal=2E-5;
dsolEnf=(-(beta*42*0.7)/(m*solEnf(1)^2));
EsolEnf=2E-5;

Error3
=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2)
PorcentageE3=Cp+Error/Cp*100
%Para ver la contribucion de cada termino al error

ErrorP3=(dP*EP)^2/Error^2*100
Errorm3=(dm*Em)^2/Error^2*100
Errormcal3=(dsolCal*EsolCal)^2/Error^2*100
Errormenf3=(dsolEnf*EsolEnf)^2/Error^2*100

% Calculo del Cp(T)

CpSol3=ones(1,length(Sol));
CpLiq3=ones(1,length(Liq));
ErrorSol3=ones(1,length(Sol));
ErrorLiq3=ones(1,length(Liq));

for i=1:length(Sol)

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),Sol(i),0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),Sol(i),0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

CpSol3(i)=beta*P/(m*(dTdtCal-dTdtEnf));
```

16. Programa de Procesado

```
ErrorSol3(i)
=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2);

end

for j=1:length(Liq)

solEnf=pendiente(tE,Enf(:,iLocation),Liq(j),0,20);

solCal=pendiente(tC,Cal(:,iLocation),Liq(j),0,20);

dTdtCal=solCal(1);
iTime=round(solCal(3));
P=V(iTime)*I(iTime);
dTdtEnf=solEnf(1);

CpLiq3(j)=beta*P / (m*(dTdtCal-dTdtEnf));

ErrorLiq3(j)
=((dP*EP)^2+(dm*Em)^2+(dsolCal*EsolCal)^2+(dsolEnf*EsolEnf)^2)^(1/2);
end

%Representar el Cp(T) con el error

figure(3) %Grafico para solido
hold on
errorbar(Sol,CpSol3,ErrorSol3,'ob')

title('Sal HITEC Cp(T) Solido')
xlabel('Temperatura(°C)')
ylabel('Cp(J/gK)')
legend('Ciclo 1','Ciclo 2','Ciclo 3')

figure(4) %Grafico para liquido
hold on
errorbar(Liq,CpLiq3,ErrorLiq3,'ob')

title('Sal HITEC Cp(T) Liquido')
xlabel('Temperatura(°C)')
ylabel('Cp(J/gK)')
legend('Ciclo 1','Ciclo 2','Ciclo 3')
```

16. Programa de Procesado

16.2. Función calculo de pendiente

La función encargada de sacar la pendiente de las curvas es:

```
function [pend]=pendiente(t, Temperatures, T, ifplot, n)

% Halla la pendiente dTemperatures/dt de la curva dada por Temperatures en los
% instantes de tiempo t. Se ajusta tanto una linea como una exponencial en los 2*n+1 puntos
% entorno a la temperatura T de entrada, de ahí que el resultado sea un
% vector en la forma [resultadolineal resultadoexponencial]. Si hay poco
% ruido en las medidas, ambos resultados deberían ser muy próximos.
%
% t: vector de tiempos
% Temperatures: vector de temperaturas
% T: temperatura a la que queremos hallar la pendiente
% ifplot: Un valor ifplot=1 muestra una figura con el ajuste.

pend=[0 0];
data=Temperatures;      % Cuestión de nomenclatura

if nargin==4
    n=10;                % Si no se da el valor para n, se toma por defecto 10
end

pos1=find((data-T)<0);   % Halla la posición con el valor de Temperatures inmediatamente inferior a la T objetivo

if (data(end)-data(1))>0 % Si es decreciente toma la posición de corte como el último elemento
    pos=pos1(end);
else
    pos=pos1(1);        % Si no el primero.
end

% Se selecciona región de extensión 2*n+1 entorno a ese punto
inipos=pos-n;
endpos=inipos+2*n;

if pos<n                % Selección de los elementos de la zona de ajuste, pero cuidado con que no nos salgamos de los bordes del vector inicial.
    inipos=1;
    endpos=2*n+1;
end
```

16. Programa de Procesado

```
if pos>(length(data)-n-1)

    endpos=length(t);
    inipos=endpos-2*n;
end

x=t(inipos:endpos)-t(inipos);          % Se asignan los vectores x (tiempo) e y (temperatura) con los que vamos a trabajar
y=data(inipos:endpos);

% Método lineal
if size(x,2)==1
    x=x';
end
if size(y,2)==1
    y=y';
end
a=polyfit(x,y,1);
pend(1)=a(1);

if ifplot==1

    hold on
    %x=x+t(inipos);
    % plot(x,y,'*')
    hold on
    plot(x+t(inipos),a(1)*x+a(2),'r')
    hold on

end

% Método exponencial
pend2=(y(end)-y(1))/(x(end)-x(1));      % Dato requerido como semilla para el ajuste

a= fitoptions('Method','NonlinearLeastSquares',...
    'Startpoint',[y(end) y(1)-y(end) 1/pend2]);
f = fittype('a+b*exp(x/c)', 'options',a);

[sol,err]=fit(x',y',f);                  % Ajuste

pend2=sol.b*exp(x(1)/sol.c)/sol.c; % No usar

deltat=(x(n+1)-x(n));                    % Hallamos la derivada como dT/dt.
to=log((T-sol.a)/sol.b)*sol.c;           % Halla el tiempo para el cual la temperatura pasa por T
```

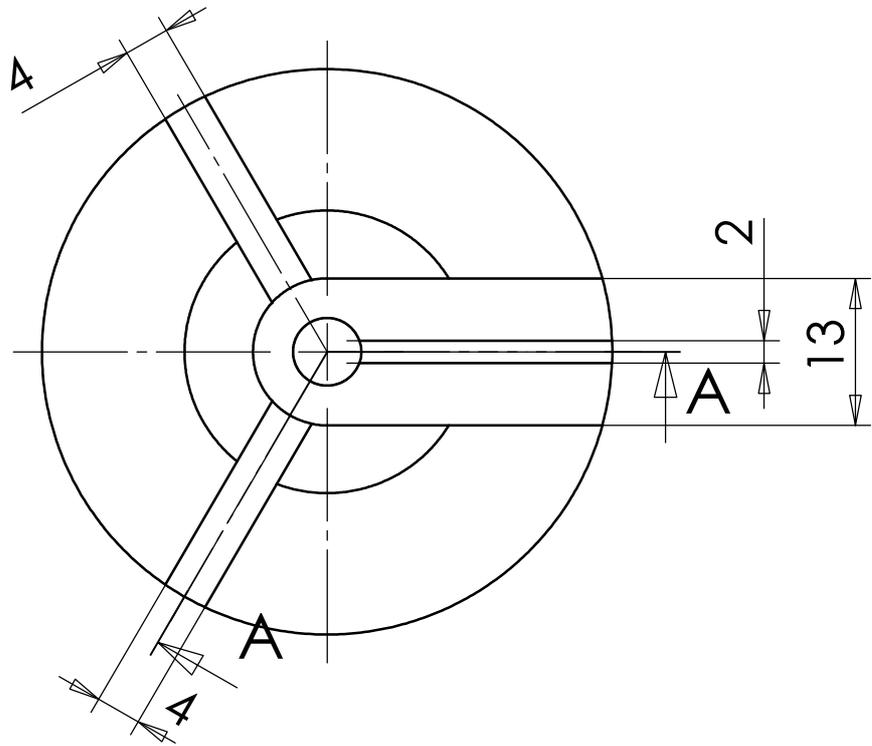
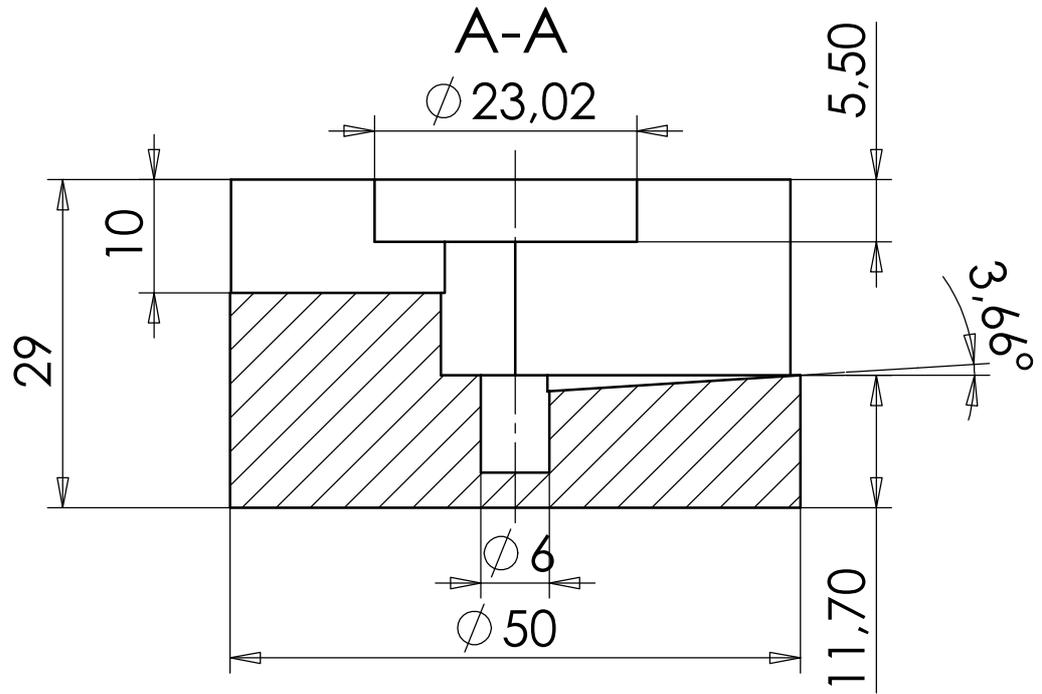
16. Programa de Procesado

```
T1=sol.a+sol.b*exp((to-deltat/2)/sol.c);    % Temperatura en t-dt/2
T2=sol.a+sol.b*exp((to+deltat/2)/sol.c);    % Temperatura en t+dt/2
pend(2)=(T2-T1)/deltat;                    % La solución es esta

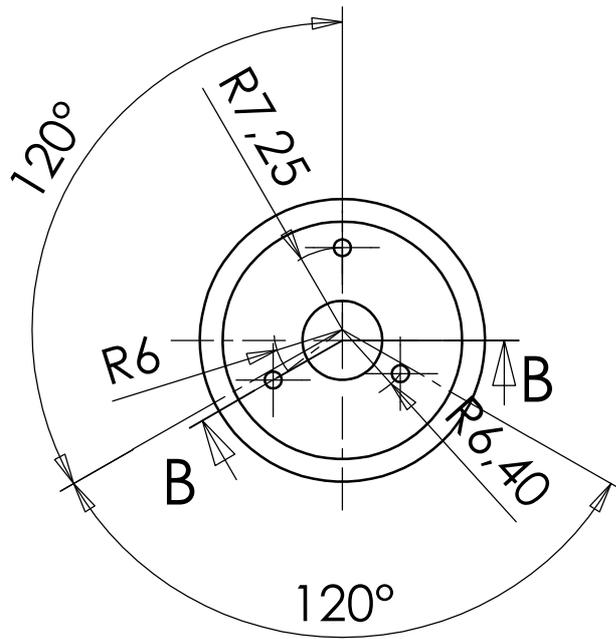
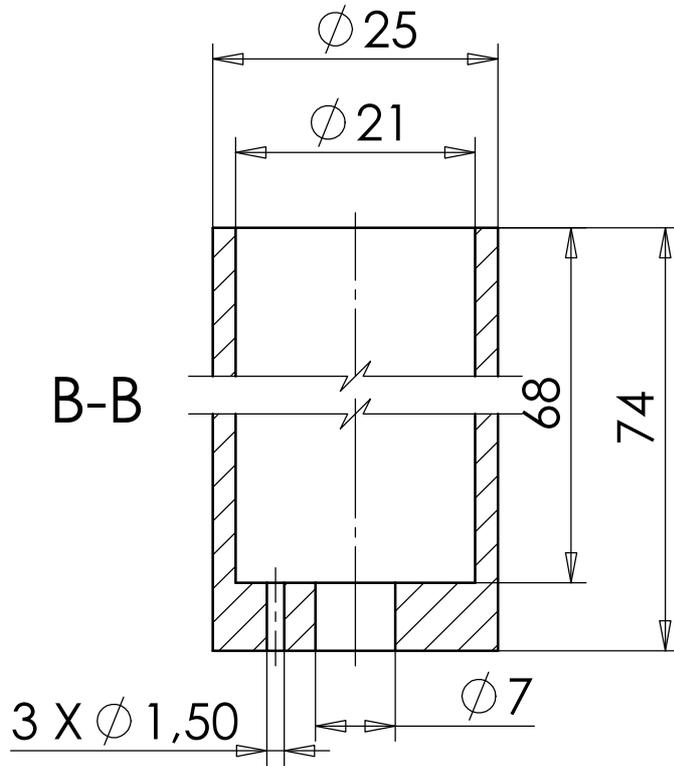
pend(3)=t(inipos)+to;

%
% if ifplot==1
%
%     hold on
%     x=x+t(inipos);
%     plot(x,y,'*')
%     hold on
%     plot(x,sol.a+sol.b*exp((x-t(inipos))/sol.c),'r')
%     hold on
%     pend=(y(n+1)-y(n-1))/(x(n+1)-x(n-1));
% end

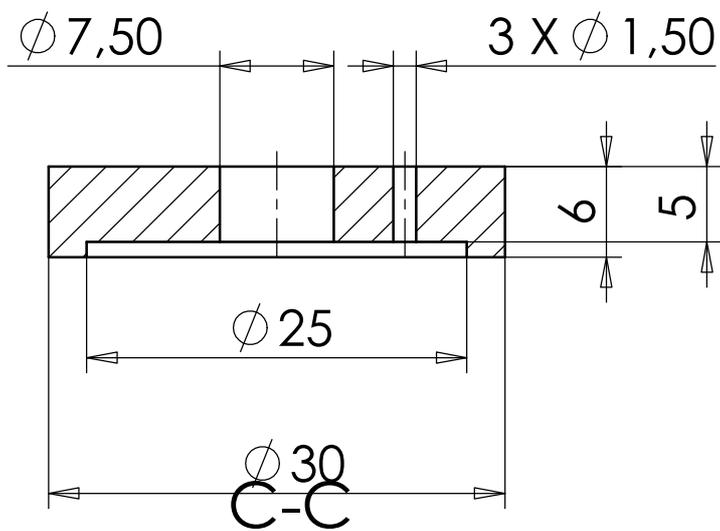
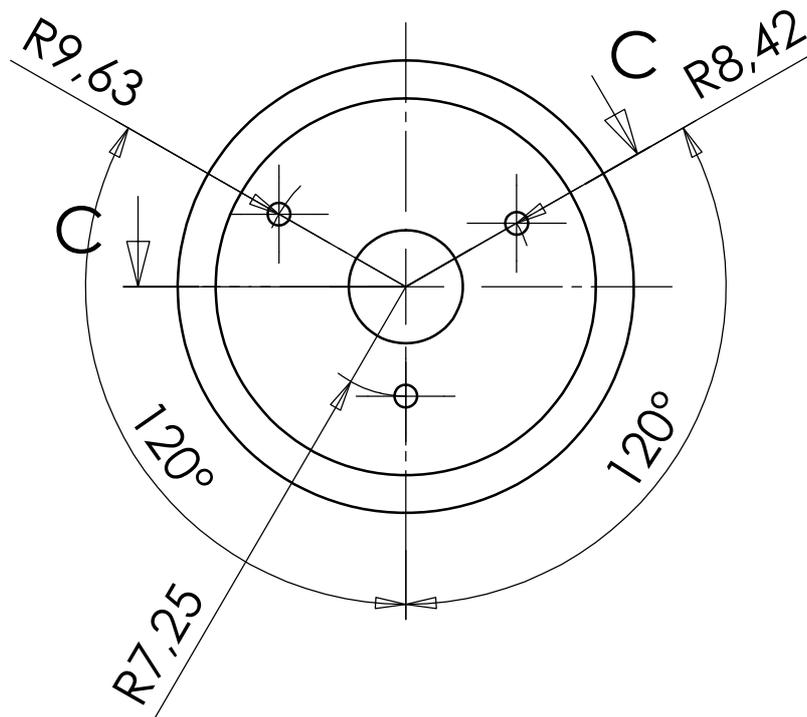
end
```



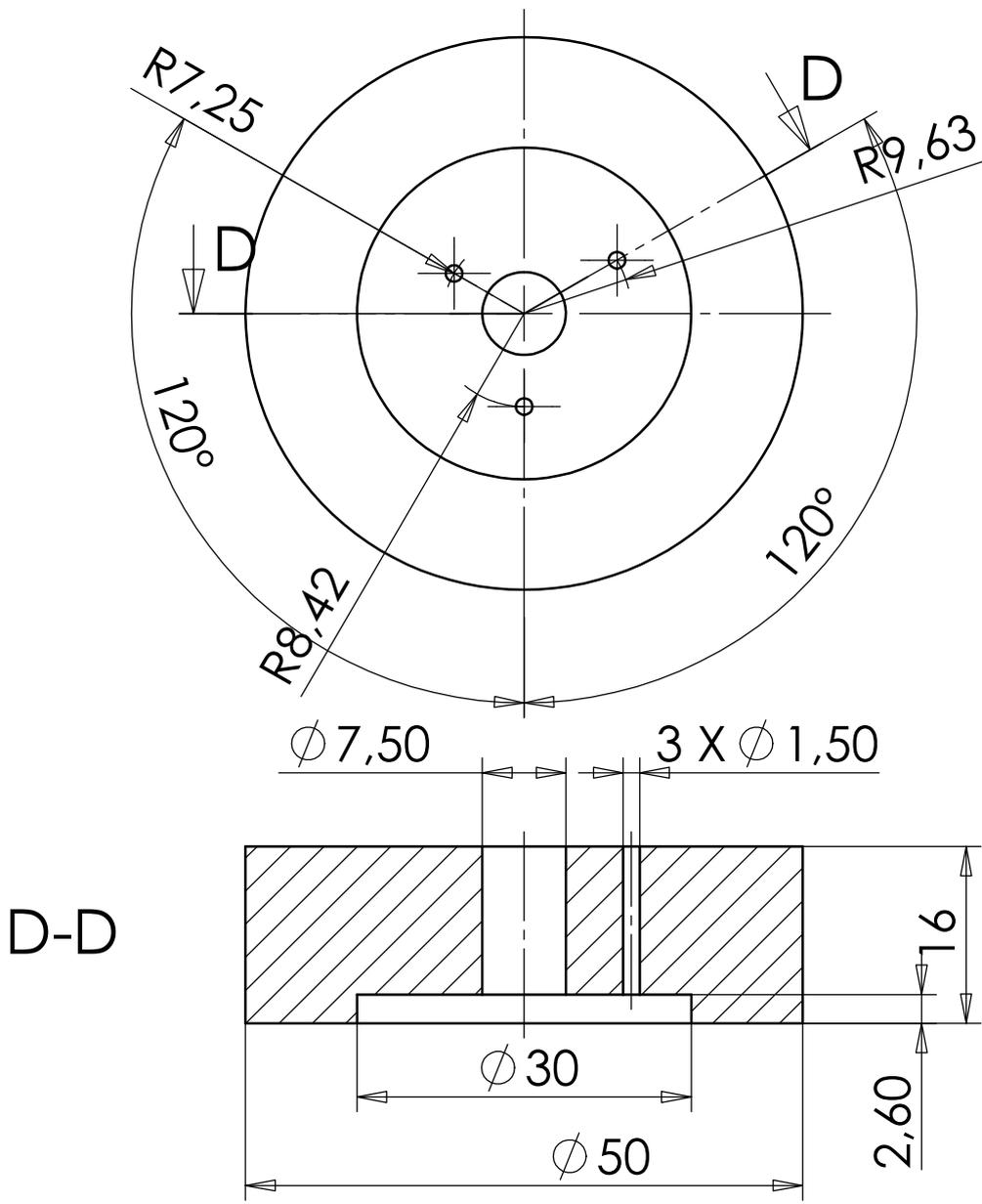
	FECHA	NOMBRE	ESTCE - Universitat Jaume I	
DIBUJ.	25/06/2014	Alfredo Angulo		
VERIF.				
ESCALA 3:2	Sist 	TÍTULO: Base	Plano 1	
	Unidades mm		Sustituye a: Sustituido por:	



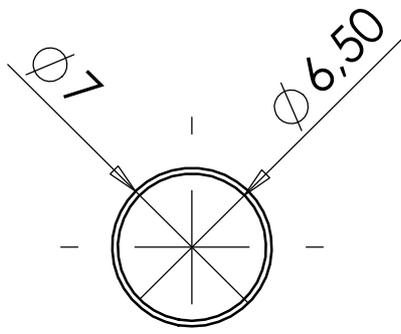
	FECHA	NOMBRE	ESTCE - Universitat Jaume I	
DIBUJ.	25/06/2014	Alfredo Angulo		
VERIF.				
ESCALA 3:2	Sist 	TÍTULO: Cuerpo	Plano 2	
	Unidades mm		Sustituye a:	
			Sustituido por:	



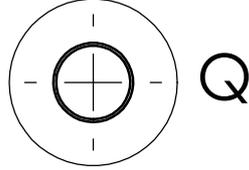
	FECHA	NOMBRE	ESTCE - Universitat Jaume I	
DIBUJ.	25/06/2014	Alfredo Angulo		
VERIF.				
ESCALA 2:1	Sist	TÍTULO: Tapa	Plano 3	
			Sustituye a:	
	Unidades mm		Sustituido por:	



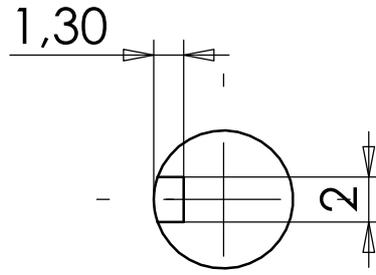
	FECHA	NOMBRE	ESTCE - Universitat Jaume I	
DIBUJ.	25/06/2014	Alfredo Angulo		
VERIF.				
ESCALA 3:2	Sist	TÍTULO: Soporte Tapa	Plano 4	
			Sustituye a:	
	Unidades mm		Sustituido por:	



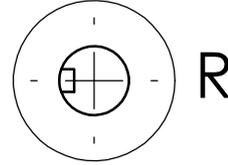
Q(ESCALA 3 : 1)



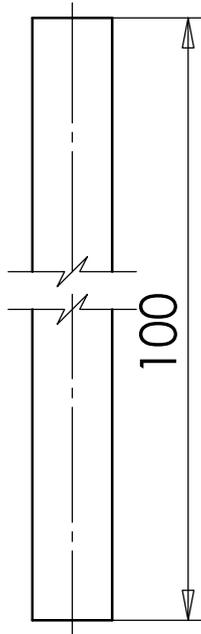
Q



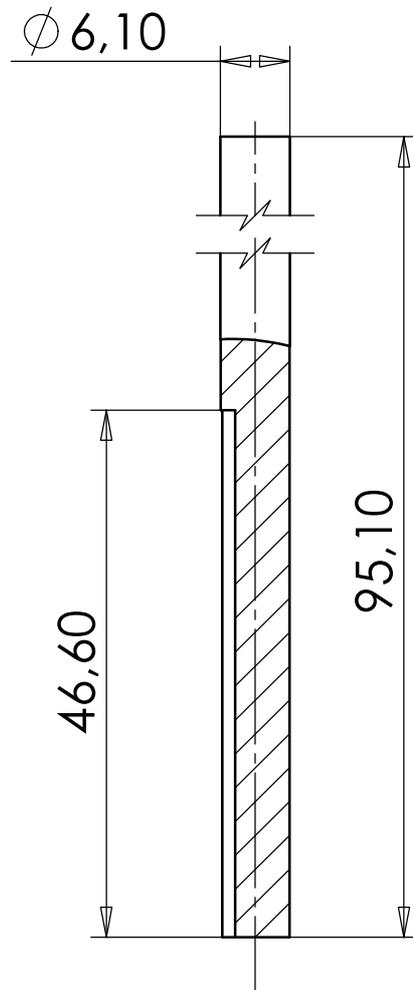
R(ESCALA 3 : 1)



R



100

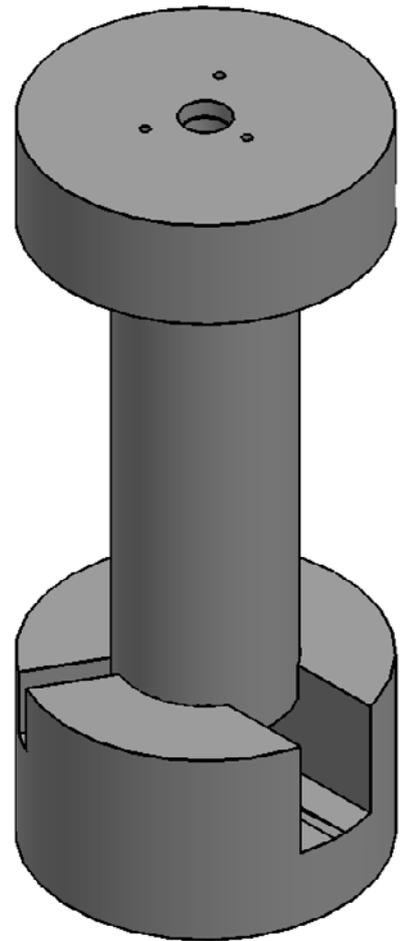
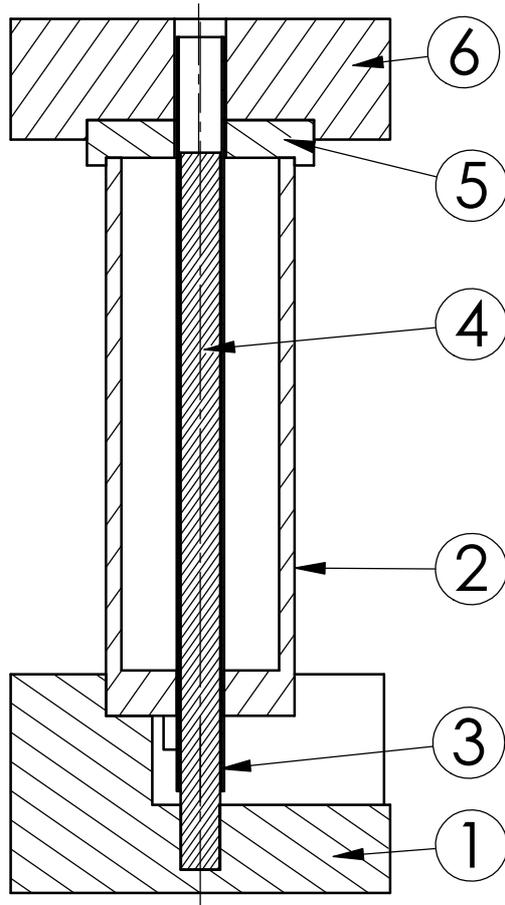


ϕ 6,10

46,60

95,10

	FECHA	NOMBRE	ESTCE - Universitat Jaume I	
DIBUJ.	25/06/2014	Alfredo Angulo		
VERIF.				
ESCALA 3:2	Sist	TÍTULO: Calentador y Ceramica Int	Plano 5	
			Sustituye a:	
	Unidades mm		Sustituido por:	



6	Soporte Tapa	Silicio de calcio
5	Tapa	Ceramica de vidrio
4	Ceramica Int	Ceramica de vidrio
3	Calentador	Acero Inoxidable 316
2	Cuerpo	Ceramica de vidrio
1	Base	Silicio de calcio
Marca	Elemento	Material

	FECHA	NOMBRE
DIBUJ.	25/06/2014	Alfredo Angulo
VERIF.		

ESTCE - Universitat Jaume I

ESCALA 1:1	Sist 	TÍTULO: Ensamblaje	Plano 6
	Unidades mm		Sustituye a:
	Sustituido por:		