



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de las propiedades térmicas de resinas epoxi con
incorporación de materiales de cambio de fase*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: José Manuel Rodríguez Buzón
DIRECTORES: Elena Arce Fariña
Andrés Suárez García
CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de las propiedades térmicas de resinas epoxi con
incorporación de materiales de cambio de fase*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como novedad el desarrollo de compuestos en los que se utilizaron materiales de cambio de fase (PCM) sin encapsular, combinados con resinas epoxi para mejorar las propiedades térmicas de estas últimas. La resina actuaría como cápsula y adhesivo del PCM a la superficie.

En primer lugar, se realizó un estudio de los puntos de fusión y solidificación de cinco PCM, de los cuales tres eran sales (i.e. Nitrato de Zinc tetrahidratado, Tiosulfato de Sodio pentahidratado y Acetato de Sodio trihidratado) y dos parafinas (i.e. Parafina y Estearina) para caracterizar su comportamiento. Posteriormente, se combinaron estos PCM con dos resinas epoxi. Con el objeto de evitar la formación de depósitos de PCM en la base de las probetas, se utilizaron dos resinas con diferente densidad. También se estudió el efecto de la temperatura en el curado de las muestras (i.e. aplicación de ultrasonidos) y la actuación de otros elementos (i.e. surfactante). Una vez pasado el tiempo de curado las probetas, se caracterizaron en base a parámetros de dureza y homogeneidad.

Las aplicaciones irán enfocadas al ámbito de la mejora del confort térmico (e.g. regulación de temperatura en interior de viviendas, naves industriales, buques, etc.).

PALABRAS CLAVE

Resina Epoxi, PCM, punto de fusión, temperatura, probeta.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mis padres y mi hermano el apoyo que me han dado día a día a lo largo de estos años de carrera. Siempre han estado ahí conmigo animándome y motivándome para lograr mis objetivos.

También quisiera agradecer a mis dos tutores de este proyecto, Doña Elena Arce Fariña y Don Andrés Suárez García su colaboración en la realización del mismo. Sin su ayuda y orientación la realización de este proyecto no hubiera sido posible. Agradecerles también su paciencia y enseñanzas a lo largo de mi carrera. También agradecer la colaboración de la profesora Claudia Luhrs de la Naval Postgraduate School.

No quisiera terminar sin agradecer a mi novia la motivación que me ha dado para lograr alcanzar mis metas y a todos mis compañeros y amigos de promoción, con los cuales he convivido la mayor parte del tiempo durante mis años de carrera. De aquí resaltar a mis amigos los Alféreces de Fragata Javier Gago Codesal y Álvaro Nuevo Martínez, y al Alférez Alfonso Padrón Guerra, con los cuales he compartido camareta en el cuartel en los dos últimos años de mi carrera, estableciendo con ellos una amistad y lazos de hermandad para toda la vida.

TABLA DE CONTENIDO

Índice de Figuras	6
Índice de Tablas.....	8
1. Introducción.....	1
1.1 Contextualización.....	1
1.2 Motivación y objetivos.....	1
1.3 Ejecución.....	1
1.4 Organización de la memoria	2
2. Estado del arte	3
2.1 Materiales de cambio de fase (PCM).....	3
2.1.1 Introducción	3
2.1.2 Definición PCM.....	3
2.1.3 Clasificación de los PCM en base a su composición.....	4
2.1.4 Clasificación de los PCM en base al tamaño de las cápsulas	6
2.1.5 Usos y aplicaciones de los PCM.....	7
2.2 Resinas epoxi	8
2.2.1 Definición	8
2.2.2 Características de las resinas epoxi.....	9
2.2.3 Usos y aplicaciones.....	9
2.3 Combinación de resinas epoxi con PCM	10
3. Desarrollo del TFG.....	11
3.1 Estudio de las temperaturas de fusión y solidificación de PCM.....	11
3.1.1 Objetivos.....	11
3.1.2 Equipo de laboratorio	11
3.1.3 PCM empleados.....	13
3.2 Combinación de resinas epoxi con PCM	17
3.2.1 Objetivos.....	17
3.2.2 Equipo de laboratorio	17
3.2.3 Metodología.....	18
3.3 Medición de la dureza de las probetas	22
3.3.1 Objetivos.....	22
3.3.2 Equipo de laboratorio	22
3.3.3 Metodología.....	22
4. Resultados y discusión	23

4.1 Puntos de fusión y solidificación de PCM	23
4.1.1 Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	23
4.1.2 Nitrato de Zinc tetrahidratado ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	26
4.1.3 Acetato de Sodio trihidratado ($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	28
4.1.4 Parafina	29
4.1.5 Estearina	31
4.1.6 Comparativa de los resultados experimentales con fuentes bibliográficas (temperatura de fusión).....	32
4.2 Probetas	32
4.3 Dureza de las probetas	33
5. Conclusiones y líneas futuras	41
5.1 Conclusiones y líneas futuras.....	41
5.1.1 Caracterización de los PCM	41
5.1.2 Dureza.....	41
5.1.3 Homogeneidad de las mezclas	42
5.2 Otras líneas futuras.....	42
6. Bibliografía.....	43
ANEXO I. Resultados Parametrizaciones	46
I.1 Resultados parametrización dureza Shore A sales inorgánicas	47
I.2 Resultados parametrización dureza Shore A compuestos parafinas.....	49
I.3 Resultados parametrización dureza Shore B sales inorgánicas	51
I.4 Resultados parametrización dureza Shore B compuestos parafinas	53
I.5 Resultados parametrización homogeneidad sales inorgánicas	55
I.6 Resultados parametrización homogeneidad compuestos parafinas	57
I.7 Resultados parametrización curado sales inorgánicas	59
I.8 Resultados parametrización curado compuestos parafinas.....	61
ANEXO II. FOTOGRAFÍAS PROBETAS PCM SALES INORGÁNICAS	63
ANEXO III. Material de Laboratorio	72
III.1 Calefactor - Agitador magnético	73
III.2 Termómetro hanna checktemp 1 hi 98509.....	74
III.3 Balanza electrónica gram blauscal ah-600.....	75
III.4 Resina epoxi Resoltech WWA	76
III.5 Resina epoxi VLS UV	79
III.6 Nitrato de Zinc tetrahidratado	81
III.7 Tiosulfato de Sodio pentahidratado	83
III.8 Acetato de Sodio trihidratado	85

III.9 Surfactante	87
III.10 Detergente	88
III.11 Parafina	90
III.12 Estearina.....	91
III.13 Equipo de ultrasonidos.....	94
III.14 Durómetro PCE-DX-AS	95
III.15 Durómetro PCE-DX-DS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Microcápsulas de parafina	4
Figura 2-2 Diagrama de cambio de fase del agua	4
Figura 2-3 Esquema de funcionamiento de los materiales de cambio de fase (PCM) microencapsulados [3]	6
Figura 2-4 Representación esquemática de una macrocápsula de materiales con cambio de fase [3]	7
Figura 2-5 Aplicaciones PCM [3]	8
Figura 2-6 Estructura de una resina epoxi	8
Figura 2-7 Aplicaciones resinas epoxi	9
Figura 3-1 PCM contenido en tubo de ensayo calentado al baño maría sobre un agitador magnético con calefactor.	12
Figura 3-2 Interior del calefactor-agitador. electromagnetos	13
Figura 3-3 Materiales de cambio de fase en desecadora	13
Figura 3-4 Resultados del análisis en el DSC (Differential Scanning Calorimetry)	15
Figura 3-5 Resumen de la metodología de trabajo empleada	16
Figura 3-6 Ensayo de fusión de la parafina	17
Figura 4-1 Estudio del punto de fusión del Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	23
Figura 4-2 Estudio del punto de solidificación del Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	24
Figura 4-3 Diferencial de temperaturas de fusión del Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	25
Figura 4-4 Resultados en el ensayo 2, tras aplicar suavizado con medias móviles de cinco periodos	25
Figura 4-5 Resultados en el ensayo 2, tras aplicar suavizado exponencial	26
Figura 4-6 Resultados del ensayo con aceite vegetal	26
Figura 4-7 Estudio del punto de fusión del Nitrato de Zinc tetrahidratado	27
Figura 4-8 Estudio del punto de solidificación del Nitrato de Zinc tetrahidratado	27
Figura 4-9 Diferencial de temperaturas de fusión del Nitrato de Zinc tetrahidratado	28
Figura 4-10 Estudio del punto de fusión del Acetato de Sodio trihidratado ($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	29
Figura 4-11 Estudio del punto de solidificación del Acetato de Sodio trihidratado ($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	29
Figura 4-12 Estudio del punto de fusión de la Parafina	30
Figura 4-13 Estudio del punto de solidificación de la Parafina	30
Figura 4-14 Diferencial de temperaturas de fusión de la Parafina	31
Figura 4-15 Estudio del punto de fusión de la Estearina	31

Figura 4-16 Estudio del punto de solidificación de la Estearina	32
Figura 4-17 Influencia de los factores en la dureza Shore A de resinas epoxi con sales inorgánicas	37
Figura 4-18 Influencia de los factores en la dureza Shore A de resinas epoxi con parafinas	37
Figura 4-19 Influencia de los factores en la dureza Shore B de resinas epoxi con sales inorgánicas	38
Figura 4-20 Influencia de los factores en la dureza Shore B de resinas epoxi con parafinas	38
Figura 4-21 Influencia de los factores en la homogeneidad de resinas epoxi con sales inorgánicas	39
Figura 4-22 Influencia de los factores en la homogeneidad de resinas epoxi con parafinas.....	39
Figura 4-23 Influencia de los factores en el curado de resinas epoxi con sales inorgánicas.....	40
Figura 4-24 Influencia de los factores en el curado de resinas epoxi con parafinas	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Clasificación de los PCM [4]	5
Tabla 2-2 Características PCM orgánicos [7]	5
Tabla 2-3 Características PCM inorgánicos [7]	6
Tabla 3-1 Instrumentos del ensayo.....	12
Tabla 3-2 Propiedades físicas fundamentales de PCM	14
Tabla 3-3 Materiales empleados.....	18
Tabla 3-4 Factores experimento combinación resinas epoxi y sales PCM	18
Tabla 3-5 Diseño del experimento combinación resinas epoxi y sales PCM	19
Tabla 3-6 Probetas introducidas en la campana de secado.....	20
Tabla 3-7 Factores experimento combinación resinas epoxi y parafinas.....	20
Tabla 3-8 Factores	21
Tabla 3-9 Composición de las probetas.....	21
Tabla 3-10 Instrumentos empleados.....	22
Tabla 4-1 Puntos de fusión de PCM.....	32
Tabla 4-2 Factores	33
Tabla 4-3 Durezas de resinas epoxi mezcladas con sales inorgánicas	33
Tabla 4-4 Dureza de las probetas	34
Tabla 4-5 Homogeneidad de resinas epoxi mezcladas con sales inorgánicas.....	34
Tabla 4-6 Homogeneidad de resinas epoxi mezcladas con parafinas	35
Tabla 4-7 Curado de resinas epoxi mezcladas con sales inorgánicas	35
Tabla 4-8 Curado de resinas epoxi mezcladas con parafinas	36

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contextualización

Desde la existencia de la humanidad, el ser humano ha buscado siempre las situaciones de mayor comodidad y bienestar. Queda reflejado a lo largo de la historia como siempre se ha avanzado en el desarrollo tecnológico a fin de mejorar el bienestar de las personas. Esto se hace aplicable a todos los campos (civil, militar...).

En la actualidad, en la que ciertos recursos, resaltando como ejemplo principal el petróleo, se están agotando y han sufrido un considerable aumento de los precios, se le está dando vital importancia a la eficiencia y ahorro energético en el ámbito de las instalaciones, en especial a las de mayor consumo (climatización). Es en este ámbito donde empieza a desarrollarse e investigarse tras tres décadas de precarias investigaciones y desarrollos los materiales de cambio de fase (PCM en sus siglas en inglés).

En un principio dichos materiales se piensan para el ámbito de la construcción, es decir, con el propósito de mantener temperaturas de confort en el interior de las viviendas sin necesidad de otros sistemas de climatización que supongan más gasto energético. No obstante, en la investigación de los PCM se han ido buscando y han ido surgiendo más aplicaciones y en muy diversos campos; electrónica, construcción, automoción, sector farmacéutico, textil...

1.2 Motivación y objetivos

Con lo visto en el apartado anterior, se pretende en este proyecto seguir una línea de investigación consistente en la combinación de materiales de cambio de fase con resinas epoxi, ya que éstas tienen un campo de aplicación bastante amplio. Se buscaría así mejorar las propiedades de las resinas epoxi para su posterior aplicación.

1.3 Ejecución

La realización del siguiente proyecto irá acompañada de un trabajo experimental de laboratorio en el que se realizarán mezclas de resinas epoxi con PCM. A partir de aquí empezará la investigación; se analizarán los resultados obtenidos de dichas mezclas, se decidirá si son viables para aplicarlas, se buscará la mejor apariencia, es decir, homogeneidad en el color y finalmente unas conclusiones.

1.4 Organización de la memoria

Habiendo puesto ya en contexto este trabajo y marcado los objetivos del mismo, se procede a continuación a la organización del proyecto y desglose de sus apartados. El trabajo se divide en 6 capítulos.

En el capítulo 1 se ha introducido y puesto en contexto el trabajo. Además se explica la motivación del mismo y establecido unos objetivos para lograr un buen desarrollo de éste.

En el capítulo 2 se revisa el estado del arte. Consta de a tres apartados principales, cada uno con sus correspondientes subapartados:

-En el primer apartado se habla sobre los materiales de cambio de fase. Se hace una definición de éstos, se clasifican y se nombran sus usos y aplicaciones.

-En el segundo trata de las resinas epoxi; definiéndose éstas y nombrando sus características y aplicaciones.

-Por último, en el tercer apartado se exponen investigaciones y trabajos ya realizados combinando resinas epoxi con PCM.

El capítulo 3 trata del desarrollo del proyecto, es decir, de la metodología utilizada para obtener resultados. Aquí queda plasmado todo el trabajo de laboratorio; procedimientos, ensayos e investigación. El fin de todo esto es explicar todo lo realizado para obtener resultados.

En el capítulo 4 se explican los resultados obtenidos en el laboratorio y se analizan detenidamente para obtener finalmente unas conclusiones.

En el capítulo 5, tras todo el proceso llevado a cabo se obtienen unas conclusiones del trabajo en base a los resultados obtenidos en el proceso experimental.

El último capítulo contiene las referencias usadas en el desarrollo del presente trabajo

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Materiales de cambio de fase (PCM)

2.1.1 Introducción

En la actualidad, la demanda energética en edificios se ha convertido en un tema de relevante importancia. Lo que antes suponía una preocupación solamente para grupos selectos de investigadores, en la actualidad, toda la sociedad ha empezado a involucrarse en dicho asunto. Debemos pensar entonces cuanto estamos dispuestos a sacrificar de nuestra comodidad para reducir la inversión energética, pues estamos agotando los recursos para producir energía [1].

Ante esta situación, es cuando se empiezan a estudiar estrategias para conseguir un ahorro energético a la vez que se garantiza la comodidad del ser humano. Surgen aquí los Materiales de Cambio de Fase (PCM). Éstos se llevan investigando desde aproximadamente 1980, sin embargo, sigue siendo en la actualidad una aplicación a desarrollar y fomentar más para su empleo ya no sólo en edificación, sino también en la elaboración de otros objetos, como por ejemplo su empleo en combinación con resinas epoxi, siendo el tema del presente proyecto [2].

2.1.2 Definición PCM

Los Materiales de Cambio de Fase (PCM) son materiales que precisan de energía térmica para sufrir un cambio de fase, normalmente de sólido a líquido y viceversa. Como consecuencia de que el calor latente de cambio de estado suele ser muy alto, los PCM poseen la capacidad de almacenar calor, es decir, evitar la pérdida de éste mediante la absorción o desprendimiento del mismo [3]. En la actualidad, su estudio está enfocado en el empleo de éstos en el ámbito de la construcción con el fin de mantener temperaturas agradables en el interior de edificios.

El cambio de estado y, por consiguiente, el intercambio de energía, se produce en el elemento constructivo donde se ha depositado el PCM. El material se integra en esos componentes en alguno de sus tres formatos:

- Macroencapsulado: cápsula de gran tamaño.
- Microencapsulado: esfera de tamaño microscópico (Véase Figura 2-1).
- A granel: dentro de un hueco impermeable en el elemento constructivo.

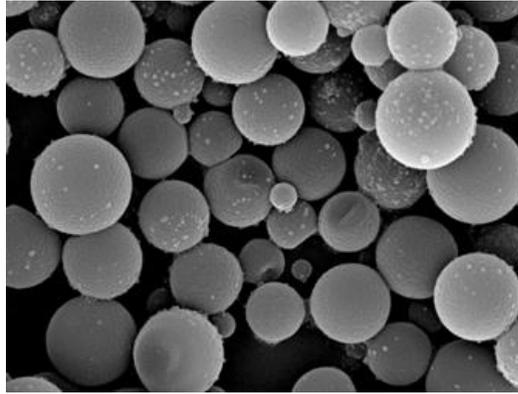


Figura 2-1 Microcápsulas de parafina

En cuanto a la utilidad de los PCM, se basa en que en todo cambio de estado, mientras dura este proceso, la temperatura se mantiene constante. Por lo tanto, cuando el material que contiene PCM recibe energía térmica procedente del Sol (radiación) u otra fuente de calor, el PCM comienza la fusión almacenándose energía a temperatura constante. Se consigue mantener una determinada temperatura sin que ésta aumente a niveles que sean incómodos para el ser humano debido a que se selecciona previamente la temperatura de cambio de fase según el PCM que se elija, es decir, cada PCM tiene un punto de fusión distinto. Por el contrario, al anochecer, cuando se deja de recibir radiación procedente del sol, el material mezclado con PCM comienza a liberar energía. A su vez el PCM comienza el cambio de fase de solidificación manteniéndose en dicho proceso la temperatura constante. Con todo esto, el objetivo de la utilización de los PCM es mantener una determinada temperatura aprovechando el cambio de fase de ellos para garantizar o ayudar a la comodidad del ser humano. En la Figura 2-1 se puede apreciar como es el comportamiento del agua cuando se somete a un aumento de temperatura.

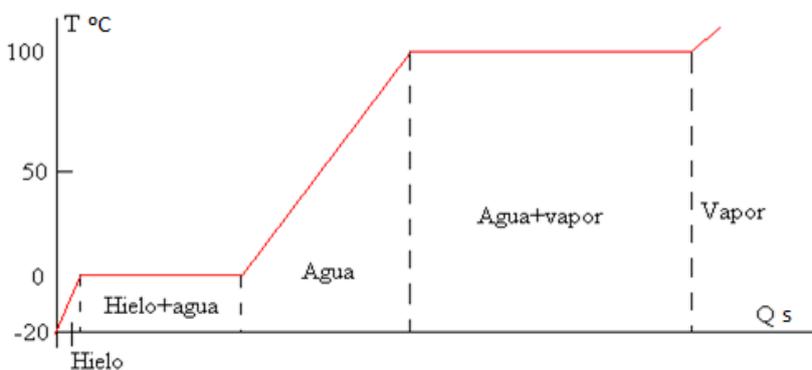


Figura 2-2 Diagrama de cambio de fase del agua

2.1.3 Clasificación de los PCM en base a su composición

En base a su composición, los PCM se clasifican según la siguiente tabla:

Tipo de PCM	Composición
Orgánicos	Compuestos de parafina
	Compuestos sin parafina
Inorgánicos	Sales hidratadas
	Metálicos

Eutécticos	Orgánico-Orgánico
	Orgánico-Inorgánico
	Inorgánico-Inorgánico

Tabla 2-1 Clasificación de los PCM [4]

2.1.3.1 PCM orgánicos

Dentro de los PCM orgánicos podemos distinguir dos tipos; los compuestos de parafina (son esencialmente un alcano sólido refinado) y los compuestos sin parafina (ácidos grasos y mezclas de ácidos grasos). Las principales características de los PCM orgánicos son; fusión congruente (sólidos que cuando funden dan lugar a un líquido de igual composición), autonucleación (solidifican adecuadamente sin necesidad de agentes nucleadores) y como norma general no corroen los materiales que los contienen [5]. La cera de parafina es muy estable a los ciclos de fusión y solidificación, tiene reactividad baja, histéresis baja y dentro de la toxicidad está clasificada como no tóxica. Otra de sus características es que puede ajustarse un amplio rango de temperaturas de cambio de fase. Su principal inconveniente es que es inflamable [6]. Además, la parafina no se usa en hormigones porque disminuye la resistencia de éstos considerablemente.

Ventajas	Inconvenientes
Fáciles de usar	Baja conductividad térmica
Estabilidad térmica y química	Amplio rango de fusión
No necesitan agente nucleador para solidificar	Grandes cambios de volumen durante el cambio de fase
No corrosivos	Reacción potencial con hormigón
Reciclables y ecológicamente inocuos	Potencialmente combustibles
	Caros

Tabla 2-2 Características PCM orgánicos [7]

2.1.3.2 PCM inorgánicos

Se clasifican en sales hidratadas y metálicas. Poseen un calor latente elevado por unidad de masa. Respecto a los PCM orgánicos tienen la ventaja de que son más baratos que éstos y no son inflamables. La temperatura se mantiene constante a lo largo de todo el proceso de cambio de fase. Entre las desventajas que poseen se encuentran que se subenfían, manteniéndose en estado líquido por debajo del punto de solidificación, y que producen segregaciones (separación de enlaces agrupándose los mismos elementos) pudiendo provocar por ello cambios en las propiedades en los materiales que lo contienen y una elevada histéresis, siendo ésta el fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa y que se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce.

Ventajas	Inconvenientes
Generalmente baratos	El encapsulado y preparación para su uso ocasionan algunos problemas (las sales hidratadas absorben agua fácilmente)

Densidad de almacenamiento térmico elevada	Su uso prolongado necesita aditivos debido a los ciclos
Elevada conductividad térmica	Son susceptibles de subenfriamiento
Temperatura de cambio de fase claramente definida	Los aditivos utilizados para evitar una fusión incongruente reducen su capacidad de almacenamiento latente por unidad de volumen en más de un 25%
No inflamables	Potencialmente corrosivos
Reciclables y biodegradables	

Tabla 2-3 Características PCM inorgánicos [7]

2.1.3.3 PCM eutécticos

Las mezclas eutécticas constan de dos componentes con punto de fusión (solidificación) más bajo que el que poseen los compuestos individualmente. Esto origina que la mezcla alcance el punto de congelación más bajo posible y ambos solidifiquen a esa temperatura eutéctica [7].

2.1.4 Clasificación de los PCM en base al tamaño de las cápsulas

2.1.4.1 PCM microencapsulados

La microencapsulación es el proceso de rodear o envolver una sustancia en otra sustancia muy reducida, originándose de esta manera cápsulas con tamaños que pueden ir desde menos de una micra hasta varios cientos de micras. Las microcápsulas pueden tener forma esférica con una pared continua que rodea al núcleo o pueden ser asimétricas con formas variables, con una pequeña cantidad de pequeñas gotas de material de núcleo incorporado a lo largo de la microcápsula . En la Figura 2-3 se puede apreciar el esquema de funcionamiento de los materiales de cambio de fase microencapsulados. La sustancia que se encapsula se puede denominar de cualquiera de las siguientes maneras: material del núcleo, ingrediente activo, agente, relleno, carga útil, núcleo o fase interna. El material que se utiliza para encapsular el núcleo se puede conocer como revestimiento, membrana, depósito o material de la pared [3].

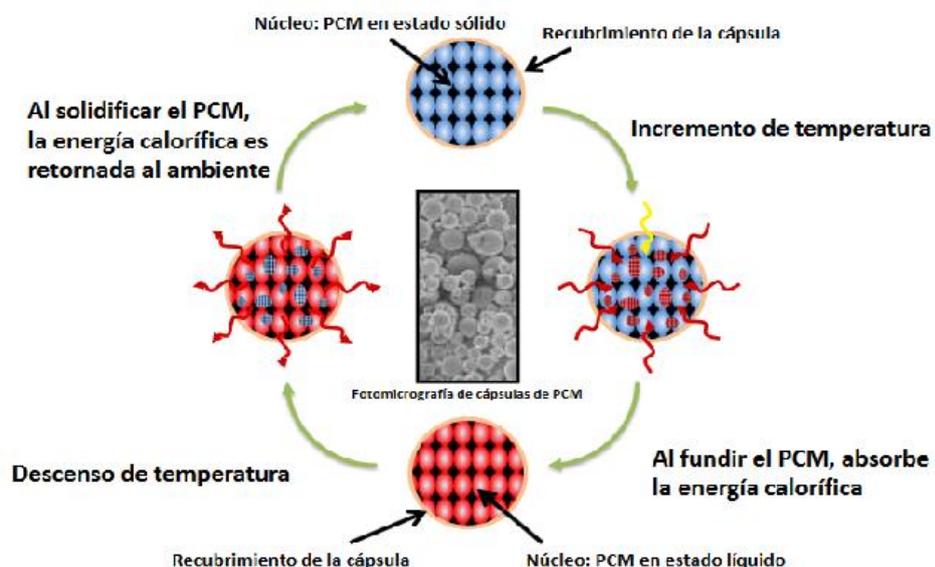


Figura 2-3 Esquema de funcionamiento de los materiales de cambio de fase (PCM) microencapsulados [3]

Las características comunes de los PCM microencapsulados son las siguientes:

- Forma: Polvo seco o pasta de filtración húmeda.
- Tamaño medio de las partículas:micras.
- Estabilidad a elevadas temperaturas.

2.1.4.2 PCM macroencapsulados

Son cápsulas con un tamaño de entre 3 y 5 milímetros que contienen elevadas concentraciones de materiales de cambio de fase [3].Sus características comunes son:

- Formas variadas.
- Tamaño medio de la partícula: milímetros.

En la Figura 2-4 se puede apreciar una macrocápsula de material con cambio de fase.

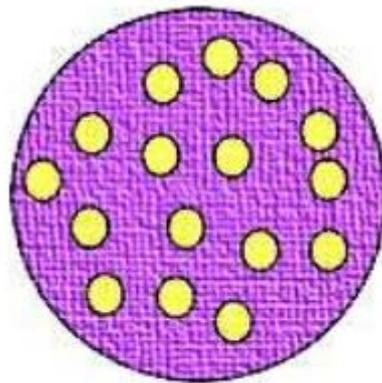


Figura 2-4 Representación esquemática de una macrocápsula de materiales con cambio de fase [3]

2.1.5 Usos y aplicaciones de los PCM

Los PCM son materiales con multitud de aplicaciones. Los sectores principales de aplicación son el sector textil, sector agrónomo, el sector alimentario, el sector farmacéutico, el sector de la construcción, el almacenamiento y transporte, la electrónica y, en la actualidad, se está estudiando su aplicación en automoción y telefonía (Figura 2-5).

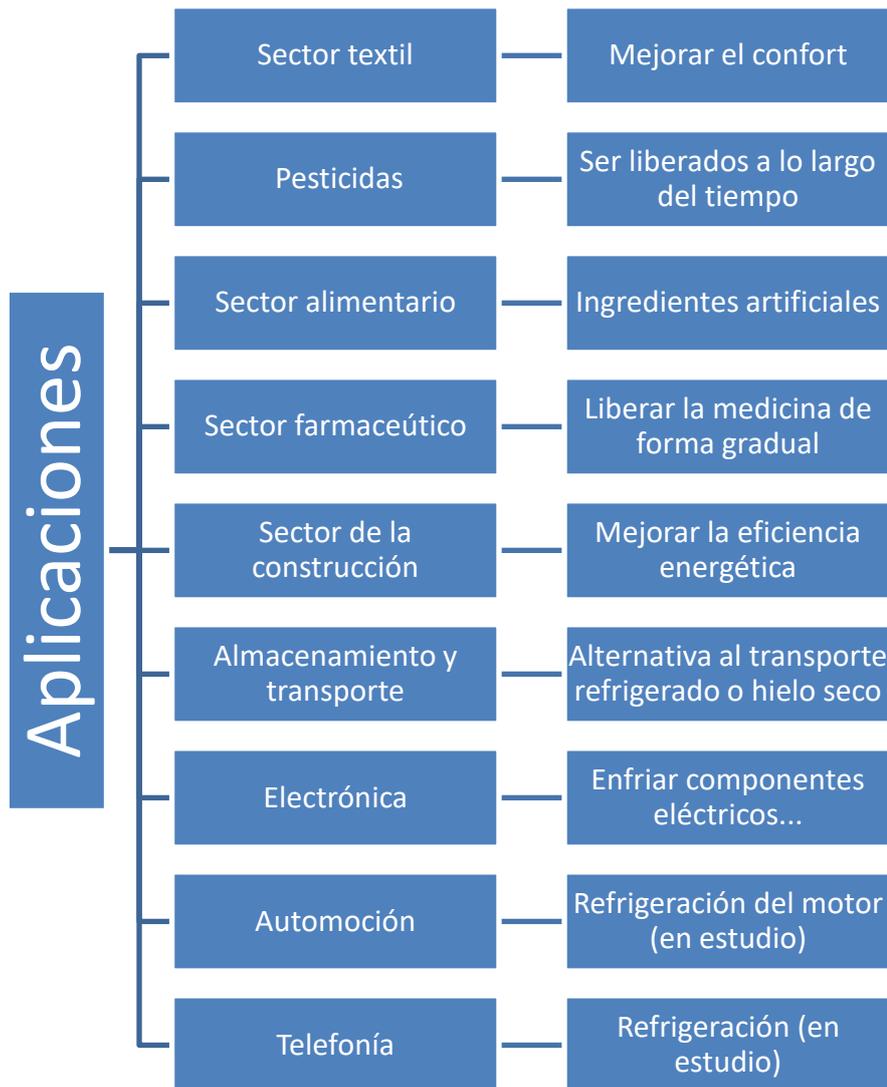


Figura 2-5 Aplicaciones PCM [3]

2.2 Resinas epoxi

2.2.1 Definición

Una resina epoxi, también conocida como poliepóxido, resina epoxídica o resina etoxílica, es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o “endurecedor”. Las resinas epoxi están formadas comúnmente por dos componentes que se mezclan previamente antes de ser usados. Al mezclarse dichos componentes, reaccionan causando la solidificación de la resina. El secado se produce a temperatura ambiente y durante el mismo se forman enlaces cruzados que provocan que su peso molecular sea muy elevado.

En realidad, dichas resinas son fundamentalmente poliéteres, aunque retienen su nombre debido a la presencia del grupo epoxi en los monómeros o en los polímeros antes de su reticulación [8]. En la Figura 2-6 se puede apreciar la estructura de una resina epoxi.

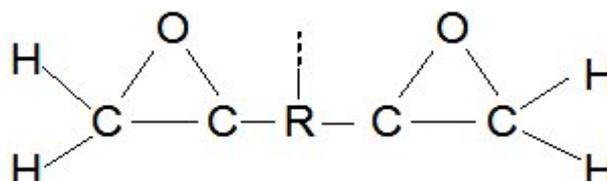


Figura 2-6 Estructura de una resina epoxi

Las resinas epoxi más usadas son las que provienen de la condensación de la epíclorhidrina con el bisfenol A. Suele haber exceso de epíclorhidrina a fin de tener grupos epoxi en cada extremo de la cadena. La epíclorhidrina es un líquido incoloro con olor picante que es insoluble en agua, pero miscible con la mayoría de disolventes orgánicos polares. Este compuesto es altamente reactivo con ácidos o bases fuertes. El Bisfenol A (BPA) es un compuesto orgánico formado por dos grupos funcionales fenol. Se prepara mediante la acetona con dos equivalentes de fenol. La reacción es catalizada por un ácido o una resina de poliestireno sulfonado

2.2.2 Características de las resinas epoxi

Las principales características de las resinas epoxi son:

- Buen aislamiento eléctrico.
- Buena resistencia mecánica.
- Resisten la humedad.
- Resisten el ataque de fluidos corrosivos.
- Resisten temperaturas elevadas.
- Excelente resistencia química.
- Poca contracción al curar.
- Excelentes propiedades adhesivas.

2.2.3 Usos y aplicaciones

En la Figura 2-7 se muestran las principales aplicaciones de las resinas epoxi.

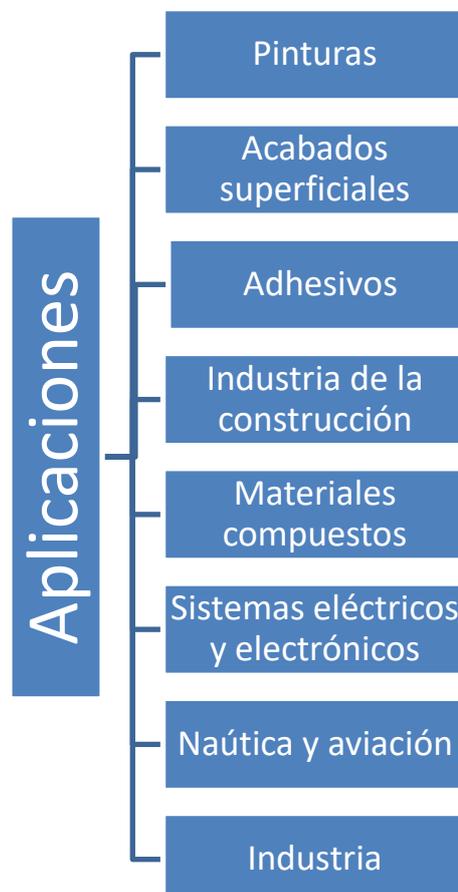


Figura 2-7 Aplicaciones resinas epoxi

2.3 Combinación de resinas epoxi con PCM

Aunque en la actualidad se sigue investigando en el área de la adición de PCM a resinas epoxi con el fin de lograr mejorar sus propiedades, ya existen algunas resinas que llevan incorporados materiales de cambio de fase. Debido a la gran variedad de materiales de cambio de fase presentes y a que también existen diversos tipos de resinas epoxi, la preparación de mezclas de resinas epoxi con PCM también tiene diferentes formas de realizarse.

Ya se han realizado preparaciones de resinas epoxi que incluyen PCM para usar dicha resina como adhesivo con propiedades térmicas en suelos de madera. Existen también proyectos para desarrollar pero como ya se ha dicho, éste es un tema que está en líneas de investigación y mejora y al que se le puede sacar bastante partida.

En cuanto a añadir el material PCM a la resina epoxi, se suele llevar a cabo de la siguiente manera:

- i. Se mezclan la resina epoxi y el material de cambio de fase.
- ii. Se añade surfactante (opcional), siendo éste una sustancia que favorece la mezcla del PCM con la resina.
- iii. Se añade catalizador (endurecedor).
- iv. Se somete la mezcla a ultrasonidos.
- v. Se deposita en un molde.
- vi. Se espera a la solidificación. Desarrollo del TFG

3. DESARROLLO DEL TFG

En esta sección se desarrolla la metodología seguida para la caracterización y análisis de los PCM y del binomio PCM-resina epoxi.

3.1 Estudio de las temperaturas de fusión y solidificación de PCM

3.1.1 *Objetivos*

El objetivo de estas primeras sesiones de laboratorio fue el estudio de las temperaturas de fusión y solidificación de los distintos PCM que se utilizaron en el presente trabajo. Dichos PCM son:

- Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).
- Nitrato de Zinc tetrahidratado ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).
- Acetato de Sodio trihidratado ($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).
- Parafina.
- Estearina.

3.1.2 *Equipo de laboratorio*

Los materiales/elementos empleados en los ensayos fueron: agua y PCM.

Los instrumentos utilizados en el ensayo aparecen reflejados en la Tabla 3-1. La indumentaria de seguridad empleada, común a todos los ensayos de laboratorio, consistió en una bata de laboratorio, gafas de seguridad, guantes y mascarilla.

Instrumentos	Referencias
Agitador magnético con calefactor	(Anexo II.1)
Termómetros	(Anexo II.2)
Báscula	(Anexo II.3)
Barra de agitación	
Vaso de precipitado	
Tubo de ensayo	
Cucharilla de plástico	
Soporte	

Tabla 3-1 Instrumentos del ensayo

En la Figura 3-1 se muestra la disposición del equipo de trabajo, en la misma, se puede ver un vaso de precipitado lleno de agua en cuyo interior contiene también un tubo de ensayo lleno de PCM. El conjunto se encuentra sobre una parrilla calefactora que cuenta con un agitador magnético con calefactor (Figura 3-2), de tal forma que se consigue aumentar la temperatura del fluido de manera homogénea. El PCM se llevó a temperatura de fusión al baño maría. La temperatura del agua y del PCM se midió con los termómetros. Esto es, un termómetro se introdujo en el tubo de ensayo que contenía el PCM, mientras que el otro registró la temperatura del agua.

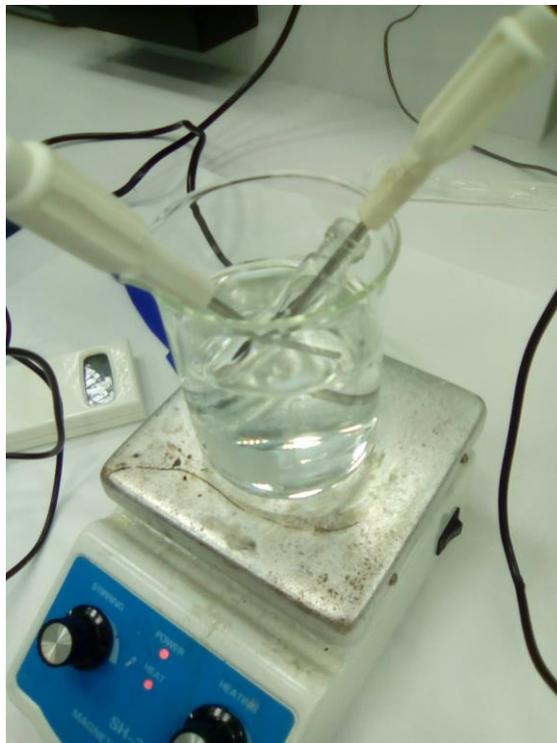


Figura 3-1 PCM contenido en tubo de ensayo calentado al baño maría sobre un agitador magnético con calefactor.

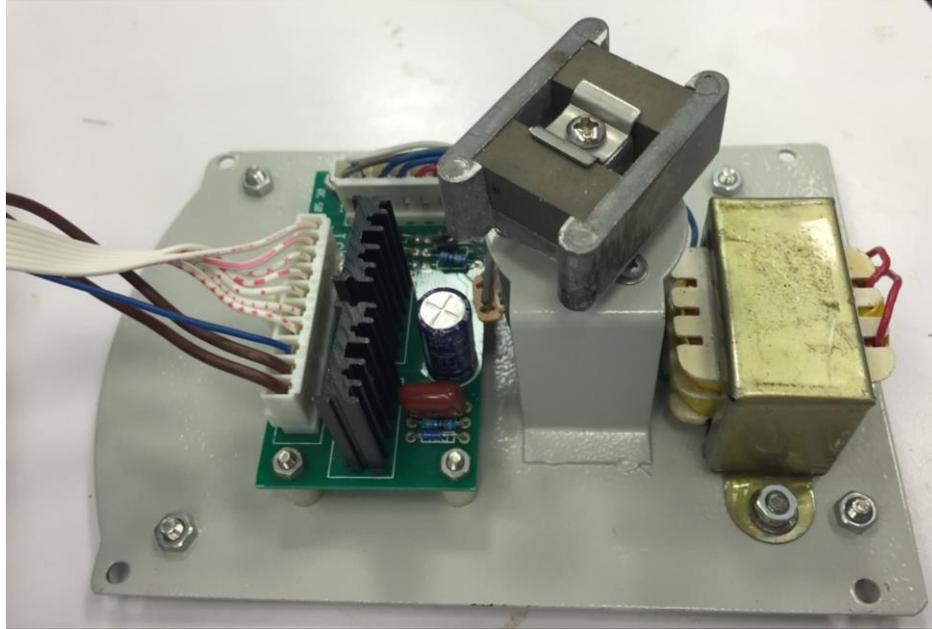


Figura 3-2 Interior del calefactor-agitador. electromagnetos

3.1.3 PCM empleados

En el siguiente apartado se explica el desarrollo y procedimiento seguido para efectuar los ensayos para cada uno de los PCM usados. Es común a todos los ensayos el tener que pertrecharse con los equipos de seguridad antes de efectuar cualquier práctica, es decir, equiparse con la bata, los guantes, las gafas de seguridad y la mascarilla.

Conviene destacar que los PCM utilizados antes de caracterizarlos estuvieron en la desecadora (con silica gel) durante 3 semanas (Figura 3-3). Previamente a introducir los PCM en la desecadora se trituraron en el mortero, de tal forma que se homogeneizó el tamaño de partícula.



Figura 3-3 Materiales de cambio de fase en desecadora

3.1.3.1 Resumen características PCM utilizados

En la Tabla 3-2 se resumen las características principales de los PCM utilizados en el presente trabajo.

PCM	Características
Tiosulfato de Sodio pentahidratado (Na ₂ SO ₃ 5H ₂ O)	- Punto de fusión: 48,5°C - Se descompone por debajo del punto de ebullición a 300°C - Densidad: 1,7g/cm ³ - Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 20,9
Nitrato de Zinc tetrahidratado (Zn(NO ₃) ₂ 4H ₂ O)	- Punto de fusión: 36,4°C (hexahidratado) - Punto de ebullición: 125°C - Densidad: 2,07g/cm ³ - Solubilidad en agua: Elevada
Acetato de Sodio trihidratado (Na(CH ₃ COO) 3H ₂ O)	- Punto de fusión: 58°C - Se descompone a 120°C - Densidad: 1,5g/cm ³ - Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 46,5
Parafina	- Punto de fusión: 56-58°C - Punto de ebullición: Mayor de 300°C - Densidad: 0,80g/cm ³ - Insoluble en agua
Estearina	- Punto de fusión: 58°C - Punto de ebullición: 360°C - Densidad: 1,16g/cm ³ - Insoluble en agua

Tabla 3-2 Propiedades físicas fundamentales de PCM

Muestras de tres de estos PCM fueron enviadas a la NPS (Naval Postgraduate School), en Monterey, Estados Unidos, para ser caracterizados térmicamente a través de una calorimetría diferencial de barrido o DSC, por sus siglas en inglés. En la Figura 3-4 se muestran las curvas de flujo calorífico frente a temperatura. Es importante destacar que el DSC proporciona información acerca del flujo de calor (mW) a cada temperatura para una masa de muestra específica [9]. Estos valores se transforman a energía (J/g) para comparar las entalpías específicas. Los efectos térmicos se muestran como desviaciones en la curva DSC. Además, se pueden ver tres casos de reacciones exotérmicas. Las desviaciones que se observan en las curvas DSC son causadas porque la muestra es sometida a transiciones físicas o reacciones químicas [10]. En los casos objeto de estudio se trata de transiciones físicas (cambios de fase) en sustancias puras.

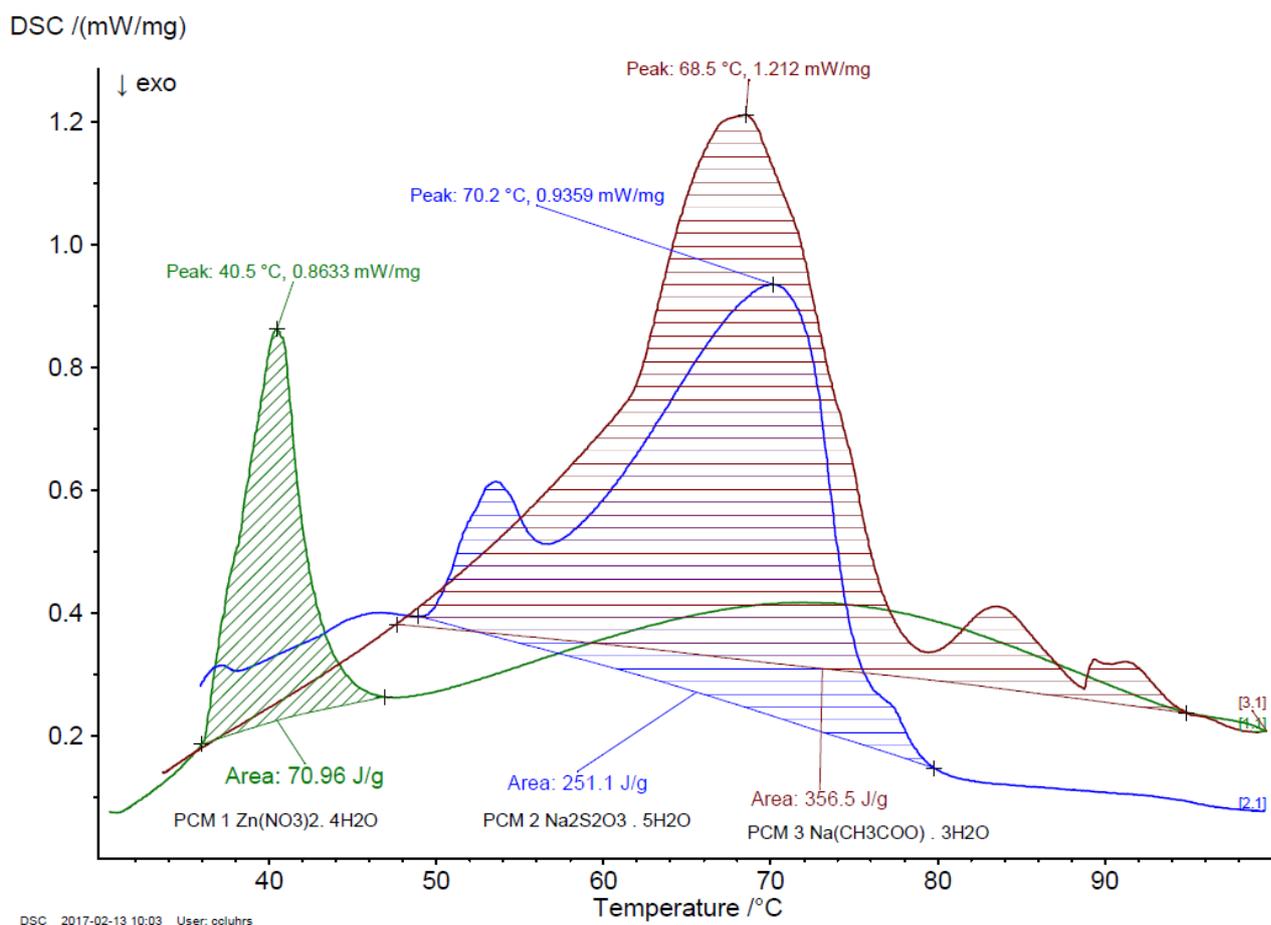


Figura 3-4 Resultados del análisis en el DSC (Differential Scanning Calorimetry)

Si la aplicación final del PCM va a ser el sector de la edificación, en base a los resultados obtenidos (Figura 3-4), de los tres materiales analizados, el único que se encuentra en el rango de temperaturas de interés es el Nitrato de Zinc tetrahidratado ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Esto es, el flujo térmico para el Nitrato de Zinc tetrahidratado se encuentra en el rango de temperaturas que va de los 36°C a los 47°C . Sin embargo, los otros dos tienen mayor área en la curva que representa la transición. Las aplicaciones que se le podrían dar al Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y al Acetato de Sodio trihidratado ($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) estarían encaminadas a la disminución de la firma IR (infrarroja) en buques (e.g. revestimiento de tubos de salida de gases)

Puesto que no se tenían resultados del DSC de todos los PCM que se deseaban analizar, fue necesario desarrollar una metodología que permitiera comprobar en qué momento se producía el cambio de fase (solidificación y fusión). Esta metodología se desarrolla en las siguientes secciones del trabajo.

3.1.3.2 Tiosulfato de Sodio pentahidratado. Metodología de trabajo.

En primer lugar, se preparan todos los materiales e instrumentos necesarios para el desarrollo del ensayo. Una vez disponemos de todos los equipos, se llena el vaso de precipitado con agua y se coloca sobre el calefactor-agitador, todavía apagado. A continuación, se introduce el Tiosulfato de Sodio pentahidratado (1,3 gramos) en el interior del tubo de ensayo. El siguiente paso consiste en introducir el tubo de ensayo en el interior del vaso de precipitado. Para evitar contacto directo entre vaso de precipitado y tubo de ensayo, se sujeta este último con una pinza. Por último, se introduce en el vaso de precipitado un agitador magnético para provocar movimiento del fluido y, así, homogeneizar la

temperatura. Se utilizan dos termómetros: uno para medir la temperatura del PCM y otro para medir la temperatura del agua.

Con los equipos y materiales preparados, se procede a encender el calefactor-agitador. Se le da la máxima potencia tanto al agitador como al calentador. A partir de este momento, se comienzan a registrar las temperaturas del agua y del Tiosulfato de Sodio pentahidratado cada 20 segundos. Se finaliza la caracterización del PCM, cuando el termómetro que está introducido en el tubo de ensayo registra que el Tiosulfato de Sodio pentahidratado ha alcanzado los 70°C. Es en este momento se apaga el calentador manteniéndose la agitación y se analiza el proceso de solidificación; anotando las temperaturas del agua y el Tiosulfato de Sodio pentahidratado cada 20 segundos hasta que el termómetro que está en el tubo de ensayo registra que el Tiosulfato de Sodio pentahidratado alcanza los 30°C. En la Figura 3-5 se reflejan las principales etapas de la metodología de trabajo.

El proceso explicado en el párrafo anterior, se repite de nuevo, pero con los termómetros intercambiados, es decir, el que antes se usaba para el agua, ahora se usa para el Tiosulfato de Sodio pentahidratado y viceversa. Esto se hizo para garantizar que los posibles errores de medición de los termómetros afectasen del mismo modo a los registros del agua y del PCM.

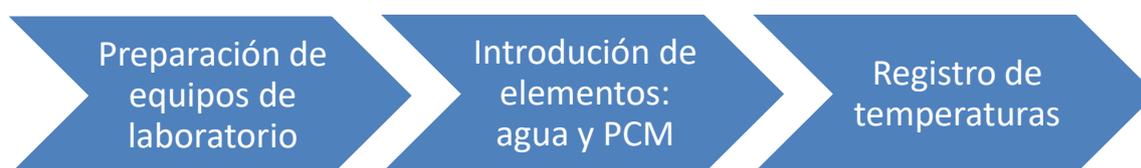


Figura 3-5 Resumen de la metodología de trabajo empleada

3.1.3.3 Nitrato de Zinc tetrahidratado. Metodología de trabajo.

El proceso empleado es el mismo que el explicado para el Tiosulfato de Sodio pentahidratado (Véase apartado 3.1.3.2). Sin embargo, en el caso del Nitrato de Zinc tetrahidratado, el análisis de la solidificación se realizó extrayendo el equipo de medición del calefactor-agitador. Esto es, no se deja el vaso de precipitado sobre la fuente de calor. Lo que se consigue con esto es acelerar el proceso de solidificación. En este caso se utilizaron 1,95 gramos de Nitrato de Zinc tetrahidratado.

Se realizó también un ensayo en el que el vaso de precipitado en lugar de llenarse de agua, se llenó con aceite de girasol. Lo que se pretendía con esto es poder observar de forma más clara la transferencia de energía (en forma de aumento de temperatura) entre el PCM y la sustancia con la que se llenó el vaso de precipitado. Es decir, un aceite vegetal necesita menos energía para aumentar un grado su temperatura. Esto es, a 25°C, a 1 atm, la capacidad calorífica específica del aceite vegetal es 2000 J/(kg·K) y del agua 4186 J/(kg·K). En este caso, solo se monitorizó la temperatura del aceite. Los resultados obtenidos se analizan en secciones posteriores.

3.1.3.4 Acetato de Sodio trihidratado. Metodología de trabajo.

Se utilizó la misma metodología que para el Tiosulfato de Sodio pentahidratado (Véase apartado 3.1.3.2). Sin embargo, la cantidad de PCM utilizada en este caso fue de 1,82 gramos.

3.1.3.5 Parafina. Metodología de trabajo.

Se aplicó la misma metodología que para el Tiosulfato de Sodio pentahidratado (Véase apartado 3.1.3.2). Sin embargo, en este caso, para acelerar el proceso de solidificación, cuando se registró que la

parafina alcanzó 70°C, se sacó el tubo de ensayo del vaso de precipitado y se introdujo en otro vaso de precipitado con agua a temperatura ambiente (Figura 3-6). Se utilizaron 0,91 gramos de parafina.

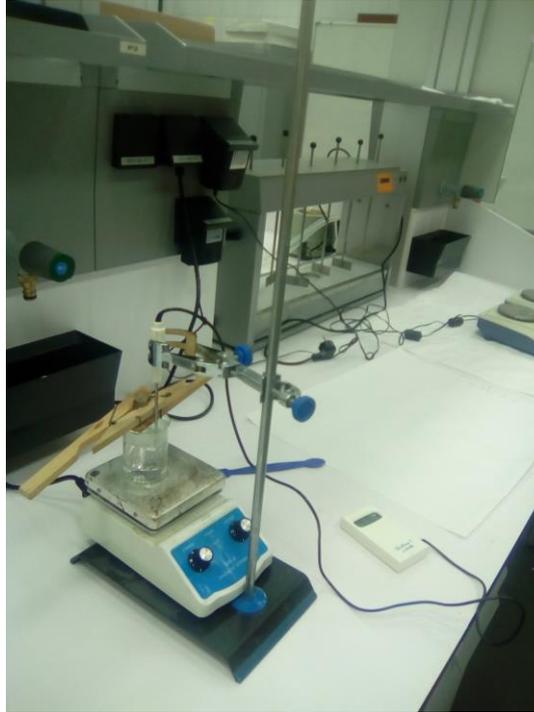


Figura 3-6 Ensayo de fusión de la parafina

3.1.3.6 Estearina. Metodología de trabajo.

La metodología empleada es, en líneas generales, la descrita en el apartado 3.1.3.2. En este caso, para aumentar la resolución de las mediciones en los rangos de temperaturas donde se estimó que se producían la fusión y solidificación, se midió la temperatura cada 10 segundos. Esto es, en la medición del proceso de fusión se tomaron mediciones cada minuto hasta que la estearina alcanzó los 40°C, momento en el cual se midieron las temperaturas cada 10 segundos, hasta que registraron 65°C. De forma inversa y homóloga, se realizó la monitorización del proceso de solidificación. Se emplearon 1,37 gramos de estearina.

3.2 Combinación de resinas epoxi con PCM

3.2.1 Objetivos

El objetivo de estas sesiones de laboratorio fue conseguir incorporar PCM a dos tipos de resina epoxi (VLS UV (A) y WWA). Motivado por distintas defectologías encontradas en las muestras, fue necesario añadir también otras sustancias.

3.2.2 Equipo de laboratorio

En la Tabla 3-3, se muestran los materiales empleados en el desarrollo de estas sesiones de laboratorio:

Materiales	Ficha técnica
Tiosulfato de Sodio pentahidratado	(Anexo II.7)
Nitrato de Zinc tetrahidratado	(Anexo II.6)
Acetato de Sodio trihidratado	(Anexo II.8)
Resina epoxi transparente WWA y endurecedor WWB4	(Anexo II.4)
Resina Epoxi VLS UV (A) y endurecedor VLS UV (B)	(Anexo II.5)
Surfactante SSD	(Anexo II.9)
Detergente	(Anexo II.10)
Parafina	(Anexo II.11)
Estearina	(Anexo II.12)

Tabla 3-3 Materiales empleados

En estas sesiones de laboratorio se emplearon los siguientes equipos: báscula, equipo de ultrasonidos (Anexo II.13), jeringuillas, vasos de precipitado, cucharillas, vasos de plástico y cubiteras.

3.2.3 Metodología

En primer lugar se establecen 6 factores. A cada factor se le asignan 2 posibilidades (-1 o +1) y se escoge una de las 2 (Véase Tabla 3-4).

Factor	Descriptor	-1	+1
A	Tipo de PCM	Zn(NO ₃) ₂ 4H ₂ O.	Na ₂ S ₂ O ₃ 5H ₂ O
B	Tipo de resina epoxi	WWA	VLS UV
C	Masa PCM / masa total (%)	3	10
D	Tiempo ultrasonidos (s)	60	300
E	Temperatura ultrasonidos (°C)	30	60
F	Masa surfactante / masa PCM (%)	0	10

Tabla 3-4 Factores experimento combinación resinas epoxi y sales PCM

Se simplificó el proceso en base a la Tabla 3-5. Esto se hizo para conseguir el número mínimo de combinaciones posibles que se aproximen a la realidad. Se consigue, de esta forma, simplificar las 64 posibles combinaciones a tan sólo 16. La Tabla 3-5 se utiliza teniendo en cuenta como surfactante el SSD. Posteriormente se realizan dos ensayos más utilizando como surfactante detergente.

id	A	B	C	D	E = ABC	F = BCD
A01	-1	-1	-1	-1	-1	-1
A02	+1	-1	-1	-1	+1	+1
A03	-1	+1	-1	-1	+1	+1
A04	+1	+1	-1	-1	-1	-1
A05	-1	-1	+1	-1	+1	-1
A06	+1	-1	+1	-1	-1	+1
A07	-1	+1	+1	-1	-1	+1
A08	+1	+1	+1	-1	+1	-1
A09	-1	-1	-1	+1	-1	+1
A10	+1	-1	-1	+1	+1	-1
A11	-1	+1	-1	+1	+1	-1
A12	+1	+1	-1	+1	-1	+1
A13	-1	-1	+1	+1	+1	+1
A14	+1	-1	+1	+1	-1	-1
A15	-1	+1	+1	+1	-1	-1
A16	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Tabla 3-5 Diseño del experimento combinación resinas epoxi y sales PCM

Se procede a continuación a la explicación de la Tabla 3-5. La primera columna representa el número de hueco en la huevera. Los huecos de la huevera van numerados del 1 al 16. La segunda columna representa el orden en que se van a realizar los diferentes ensayos, es decir, el primer ensayo se introduce en el hueco número 13 de la huevera, el segundo ensayo en el hueco 16 y así sucesivamente. Los valores de E y F se obtienen de las siguientes fórmulas:

$$E = A * B * C$$

$$F = B * C * D$$

El desarrollo práctico es el siguiente:

1. Untar vaselina en los huecos de la huevera.
2. Pesar la resina epoxi.
3. Pesar el surfactante.
4. Moler el PCM.
5. Mezclar el PCM con la resina.
6. Añadir surfactante al resultado de la mezcla anterior.
7. Poner el resultado de la anterior mezcla en la máquina de ultrasonidos.
8. Depositar el resultado final en el hueco correspondiente de la huevera.
9. Esperar a la solidificación del compuesto.

Se realiza a posteriori el ensayo correspondiente a la id6 (Véase Tabla 3-5), pero usando como surfactante detergente (Lavavajillas Fairy) y además, haciendo uso de los dos tipos de resinas. Con todo lo realizado, se comprueba que la mayoría de muestras que contienen VLS no solidifican. Se procede a continuación a la realización de más muestras cambiando las proporciones de los distintos componentes en busca de los resultados esperados. Para ello, se utiliza una tercera huevera en la que depositar las muestras para que solidifiquen.

Prosiguiendo con la investigación, se mezclan también resina VLS con catalizador solamente para estudiar si el PCM es el causante de que las muestras que contienen VLS no solidifiquen. Los resultados siguen siendo los mismos. Las muestras que contienen resina VLS no solidifican. Tras investigaciones se plantea la hipótesis de que la causa de que no solidifique la muestra sea la humedad. Por lo tanto, se procede al desarrollo de nuevas muestras que se introducen posteriormente en la campana de secado para corroborar si efectivamente la humedad es la causante del problema. La composición de las mezclas, en gramos, aparece reflejada en la Tabla 3-6.

Mezcla	PCM (Acetato de Sodio trihidratado)	Resina VLS	Catalizador
F1	1,5g	35g	15g
F2	1,5g	45g	5g
F3	1,5g	25g	25g

Tabla 3-6 Probetas introducidas en la campana de secado

De las tres probetas desarrolladas sólo solidifica adquiriendo consistencia la muestra F3. La conclusión que se obtiene es que el problema de la no solidificación es debido a que se tendría que haber utilizado proporciones más grandes de catalizador, es decir, la misma cantidad de catalizador y resina VLS. Se procede al desarrollo de nuevas probetas, con resina VLS, calculando para ello de nuevo las proporciones a usar, prestando especial atención a las proporciones del fabricante. En la Tabla 3-7, aparecen los factores que se corresponden al nuevo desarrollo de probetas. Las muestras de este proceso solidifican en el tiempo establecido en la ficha técnica.

Factor	Descriptor	-1	+1
A	tipo de resina epoxi	WWA	VLS UV
B	tipo de PCM	parafina	estearina
C	masa PCM / masa total (%)	3	10
D	tiempo ultrasonidos (s)	60	300
E	temperatura ultrasonidos (°C)	30	60
F	masa surfactante / masa PCM (%)	0	10

Tabla 3-7 Factores experimento combinación resinas epoxi y parafinas

Por último, se realizan 16 nuevas probetas a base de parafina y estearina. En la Tabla 3-8, se aprecian los factores de este nuevo ensayo y en la Tabla 3-9 las mezclas realizadas. En este caso, se vuelve a tomar una masa total de 20 gramos. El desarrollo de las probetas se realiza de la misma manera que las anteriores.

Factor	Descriptor	-1	+1
A	tipo de resina epoxi	WWA	VLS UV
B	tipo de PCM	parafina	estearina
C	masa PCM / masa total (%)	3	10
D	tiempo ultrasonidos (s)	60	300
E	temperatura ultrasonidos (°C)	30	60
F	masa surfactante / masa PCM (%)	0	10

Tabla 3-8 Factores

id	A	B	C	D	E = ABC	F = BCD
B01	-1	-1	-1	-1	-1	-1
B02	+1	-1	-1	-1	+1	+1
B03	-1	+1	-1	-1	+1	+1
B04	+1	+1	-1	-1	-1	-1
B05	-1	-1	+1	-1	+1	-1
B06	+1	-1	+1	-1	-1	+1
B07	-1	+1	+1	-1	-1	+1
B08	+1	+1	+1	-1	+1	-1
B09	-1	-1	-1	+1	-1	+1
B10	+1	-1	-1	+1	+1	-1
B11	-1	+1	-1	+1	+1	-1
B12	+1	+1	-1	+1	-1	+1
B13	-1	-1	+1	+1	+1	+1
B14	+1	-1	+1	+1	-1	-1
B15	-1	+1	+1	+1	-1	-1
B16	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Tabla 3-9 Composición de las probetas

3.3 Medición de la dureza de las probetas

3.3.1 Objetivos

El objetivo de esta sección de laboratorio es medir la dureza de las probetas obtenidas de la combinación de resinas epoxi con PCM.

3.3.2 Equipo de laboratorio

La Tabla 3-10 muestra los instrumentos empleados en dicha sección de laboratorio

Instrumentos	Anexo
Durómetro PCE-DX-AS	(Anexo II.14)
Durómetro PCE-DX-DS	(Anexo II.15)
Probetas	-

Tabla 3-10 Instrumentos empleados

3.3.3 Metodología

Se usan dos durómetros para medir la dureza de las probetas. Se aplican los dos a cada probeta y se anotan los resultados. Se usan presionando el durómetro contra la base de la probeta, puesto que ésta es la parte plana y es donde deben efectuarse las mediciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Puntos de fusión y solidificación de PCM

4.1.1 Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

En la Figura 4-1 y Figura 4-2 se muestran los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio para el Tiosulfato de Sodio pentahidratado. En la Figura 4-1 se puede ver claramente la transición de estado para el PCM (tramo marcado entre los puntos 1 y 2).

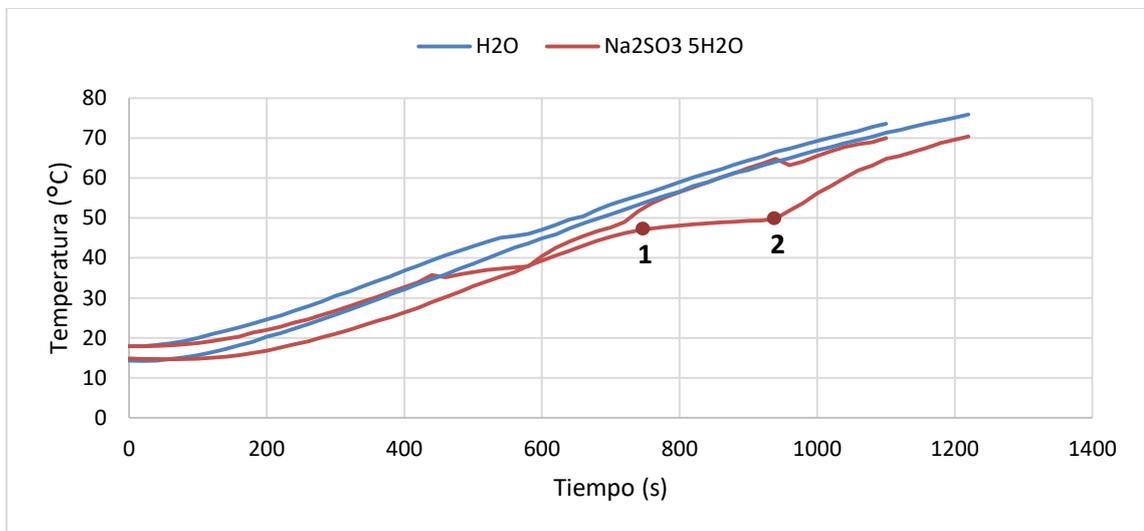


Figura 4-1 Estudio del punto de fusión del Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

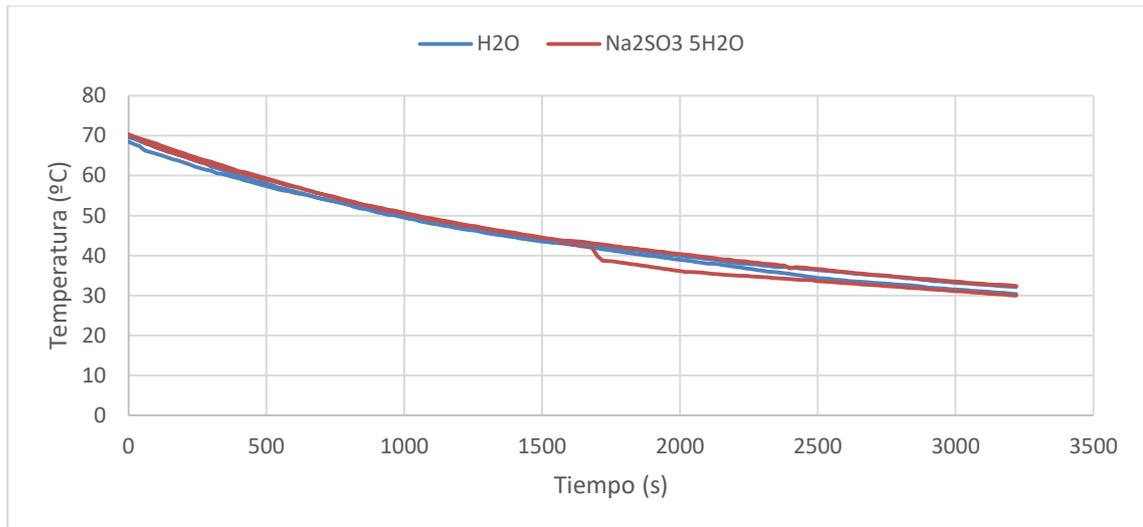


Figura 4-2 Estudio del punto de solidificación del Tiosulfato de Sodio pentahidratado (Na2SO3 5H2O)

Para el Tiosulfato de Sodio pentahidratado (Na2SO3 5H2O) se realizan dos ensayos. Conviene destacar que, en el primer ensayo, con la resolución empleada (tiempo entre mediciones), no se logró observar la estabilización de la temperatura cuando se producen los cambios de fase (i.e. fusión y solidificación). De los resultados obtenidos en el segundo ensayo, puede establecerse que la fusión está comprendida entre los 47 y 50°C (ver Figura 4-1). En una de las curvas de solidificación, se aprecia un pico de temperatura que indica el punto de solidificación (la temperatura coincide con el rango donde se produce la fusión).

Se calculó el punto de fusión del Tiosulfato de Sodio pentahidratado (Na2SO3 5H2O) a partir del diferencial de temperaturas de fusión del segundo ensayo.

$$T_f = \frac{T_i + T_{fi}}{2}$$

$$T_f = \frac{47,7 + 49,3}{2} = 48,45^\circ\text{C}$$

Donde:

T_f : Temperatura de fusión

T_i : Temperatura inicial

T_{fi} : Temperatura final

La temperatura de fusión obtenida experimentalmente coincide con lo indicado en la Tabla 3-3.

Con el objetivo de observar de forma más clara el cambio de fase en la fusión, se graficaron los diferenciales de temperatura a lo largo de los dos ensayos (Figura 4-3).

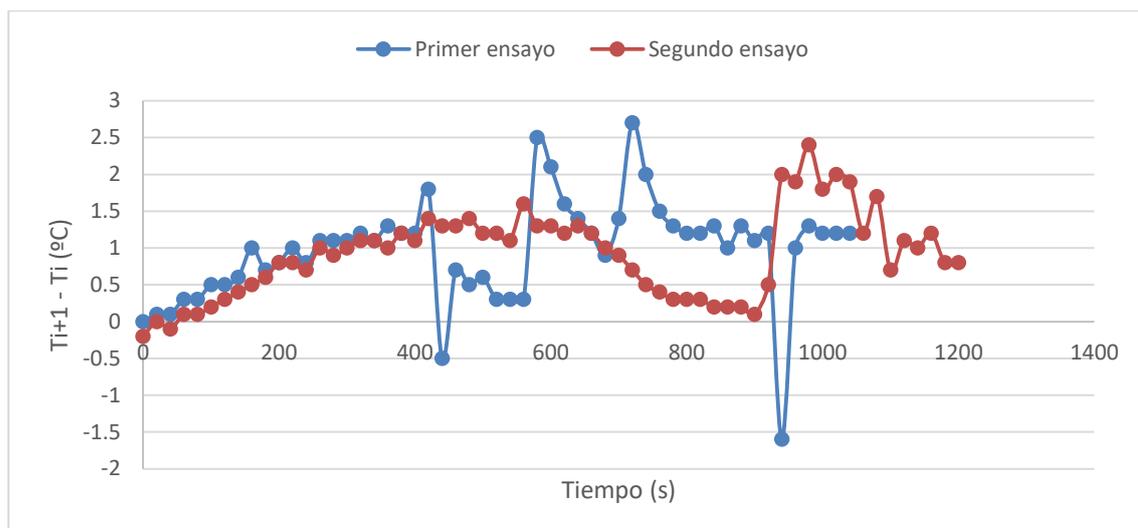


Figura 4-3 Diferencial de temperaturas de fusión del Tiosulfato de Sodio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Puesto que no se consiguió apreciar de forma evidente el tramo donde se produce el cambio de fase, se optó por aplicar técnicas de suavizado (i.e. media móvil de 5 periodos y suavizado exponencial) en los datos del segundo ensayo (Figura 4-4 y Figura 4-8). Se puede observar que con la técnica de suavizado exponencial, con factor de 0.5, muestra de una forma más clara el tramo de cambio de fase (tramo marcado entre puntos 1 y 2 en el diferencial de temperaturas). Al igual que en el ensayo 1, el rango de temperaturas donde se produce el cambio de fase va de los 47°C a los 50°C .

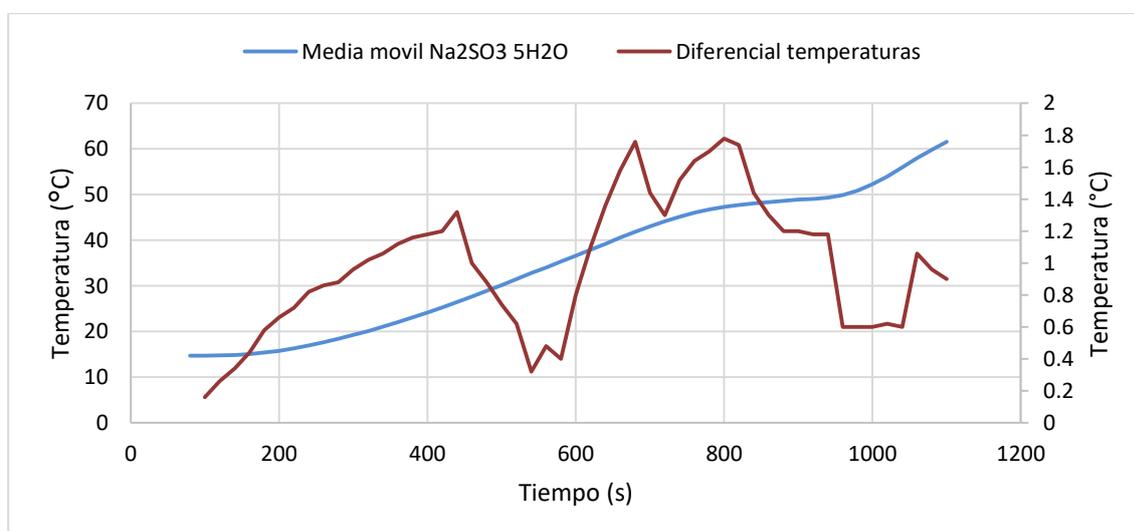


Figura 4-4 Resultados en el ensayo 2, tras aplicar suavizado con medias móviles de cinco periodos

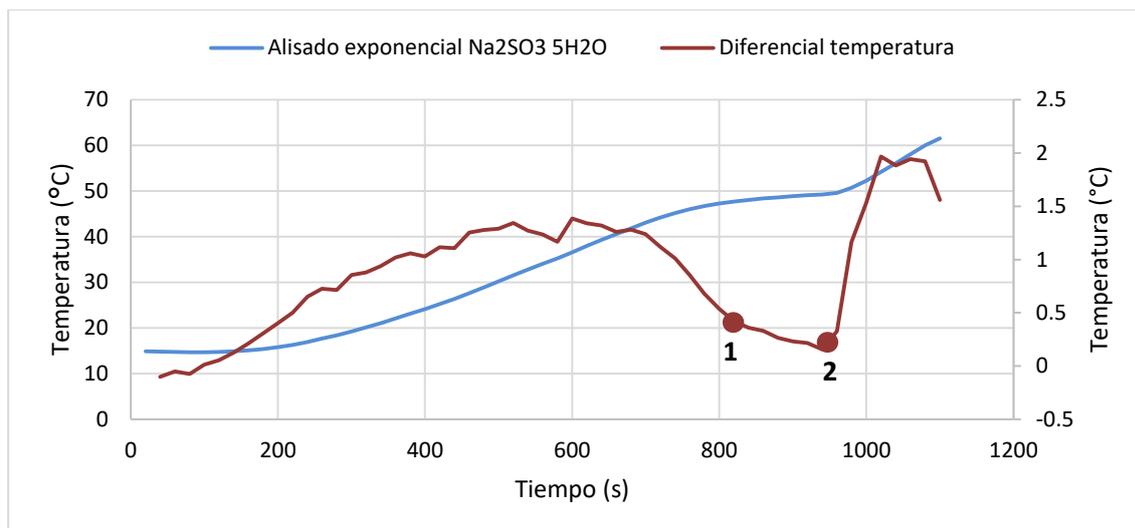


Figura 4-5 Resultados en el ensayo 2, tras aplicar suavizado exponencial

Se realizó también una prueba en la que el vaso de precipitado en lugar de llenarse de agua, se llenó con aceite de girasol (Figura 4-6). Se registró únicamente la temperatura del aceite. De los resultados obtenidos (Figura 4-6), se deduce que, pese a que el aceite tiene una capacidad calorífica menor que el agua, el diseño del ensayo no ha permitido observar de la transferencia de energía entre el PCM y el fluido.

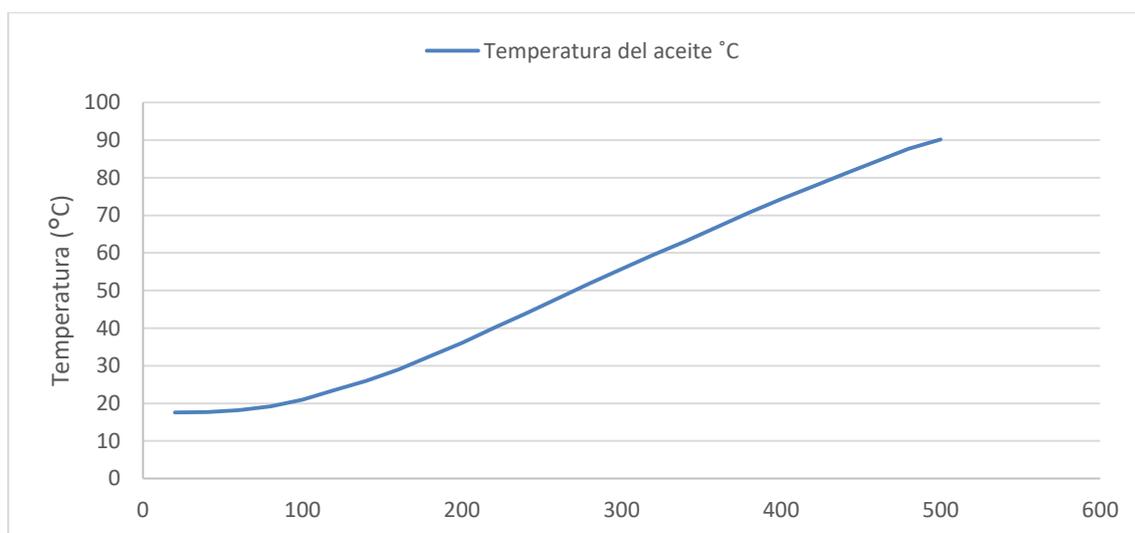


Figura 4-6 Resultados del ensayo con aceite vegetal

4.1.2 Nitrato de Zinc tetrahidratado ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$)

En la Figura 4-7 y Figura 4-8 se muestran los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio para el Nitrato de Zinc tetrahidratado. En las curvas de temperatura de la Figura 4-7 se observa el cambio de estado para el PCM (tramos marcados entre los puntos 1 y 2 y 3 y 4, respectivamente) se produce entre los 35 y los 38°C. Aunque en el segundo ensayo el tiempo en el que se produce el cambio de fase (puntos 1 y 2) es más pequeño, el rango de temperaturas en las que dicho cambio tiene lugar, es idéntico que en el primer ensayo (tramo 3 a 4).

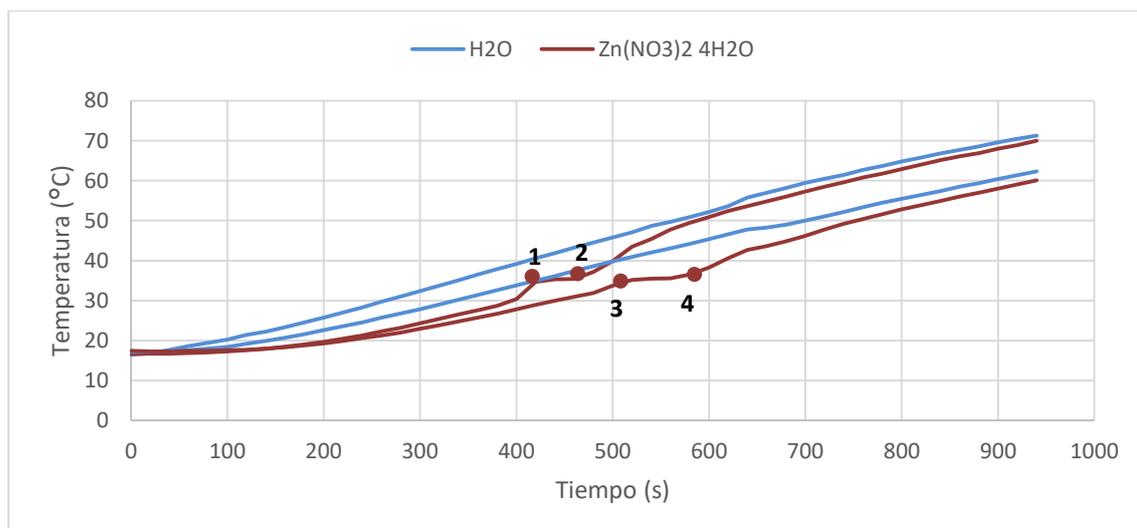


Figura 4-7 Estudio del punto de fusión del Nitrato de Zinc tetrahidratado

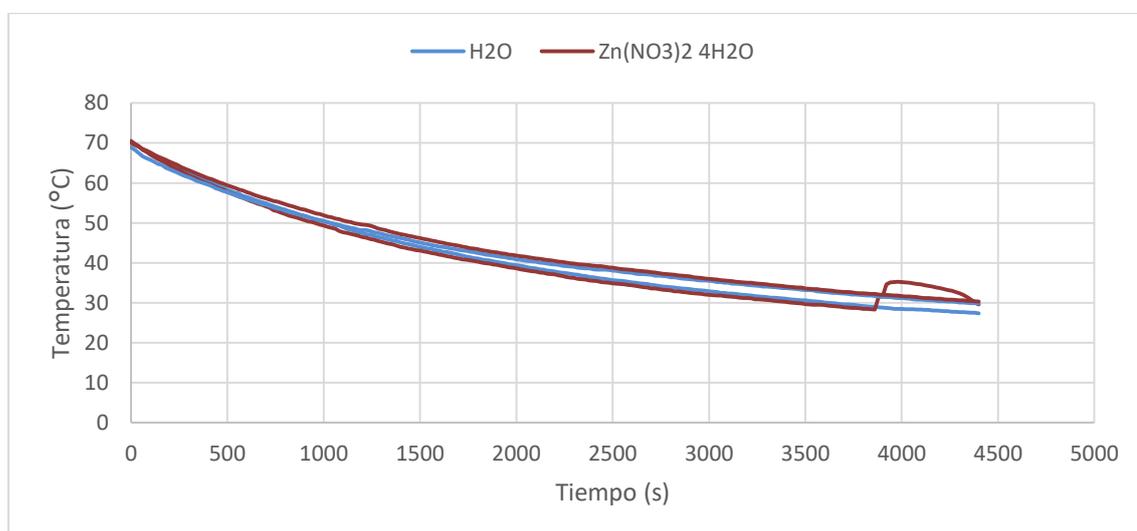


Figura 4-8 Estudio del punto de solidificación del Nitrato de Zinc tetrahidratado

Como era de esperar, la solidificación (Figura 4-8), al igual de la fusión, se producen en torno a los 35°C. En la Figura 4-8 se observa también un aumento espontáneo de temperatura. Este fenómeno se conoce con el nombre de subenfriamiento (o sobreenfriamiento). Este fenómeno se presenta en sustancias puras que se enfrían lentamente. A medida que la muestra se enfría se empiezan a agrupar las moléculas; pues hasta que no se agrupen para formar un núcleo sólido, la muestra permanece líquida. Una vez que se forma el núcleo sólido, éste se extiende rápidamente por toda la muestra. En este momento se eleva rápidamente la temperatura mientras el calor latente de fusión es emitido en un fenómeno que se llama recalcancia [11]. Esto se debe a que cuando se alcanza la temperatura de solidificación, las moléculas del líquido están demasiado desordenadas y no tienen la orientación adecuada para formar una estructura cristalina [11]. Una estructura ordenada, supone un estado de menor energía, por lo que se observa un proceso exotérmico (aumenta de forma espontánea la temperatura).

La temperatura de fusión se obtiene con mayor precisión a partir del diferencial de temperaturas de fusión del Nitrato de Zinc tetrahidratado ($Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) del segundo ensayo (ver Figura 4-7).

$$T_f = \frac{T_i + T_{fi}}{2}$$

$$T_f = \frac{31,9 + 35,5}{2} = 33,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

T_f : Temperatura de fusión

T_i : Temperatura inicial

T_{fi} : Temperatura final

El rango de temperaturas en el que se produce el cambio de fase coincide con lo indicado en la Tabla 3-3.

Para ver de forma más clara el proceso de fusión, se calcularon los diferenciales de temperatura inter-medidas (Figura 4-9); se puede observar que a partir de los 8,3 minutos (500 segundos) se empieza a estabilizar la temperatura, indicando el inicio del cambio de fase.

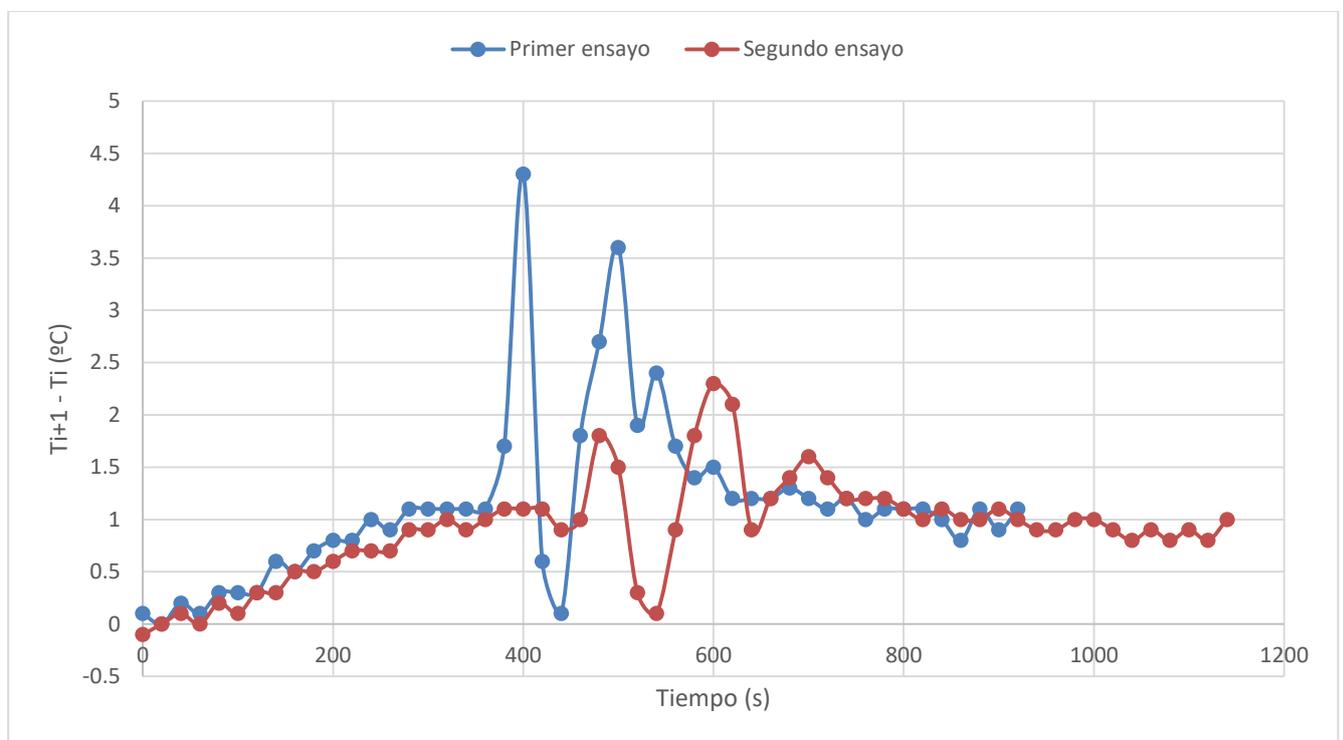


Figura 4-9 Diferencial de temperaturas de fusión del Nitrato de Zinc tetrahidratado

4.1.3 Acetato de Sodio trihidratado ($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

En la Figura 4-10 y Figura 4-11 se muestran los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio para el Acetato de Sodio trihidratado ($\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

En la Figura 4-11 se observa también un aumento espontáneo de temperatura (fenómeno de subenfriamiento explicado en 3.1.3.3.). Si se analiza en detalle la gráfica del proceso de solidificación, se puede observar que el pico de temperatura que se muestra tras el subenfriamiento es similar a la temperatura a la que se produce la fusión.

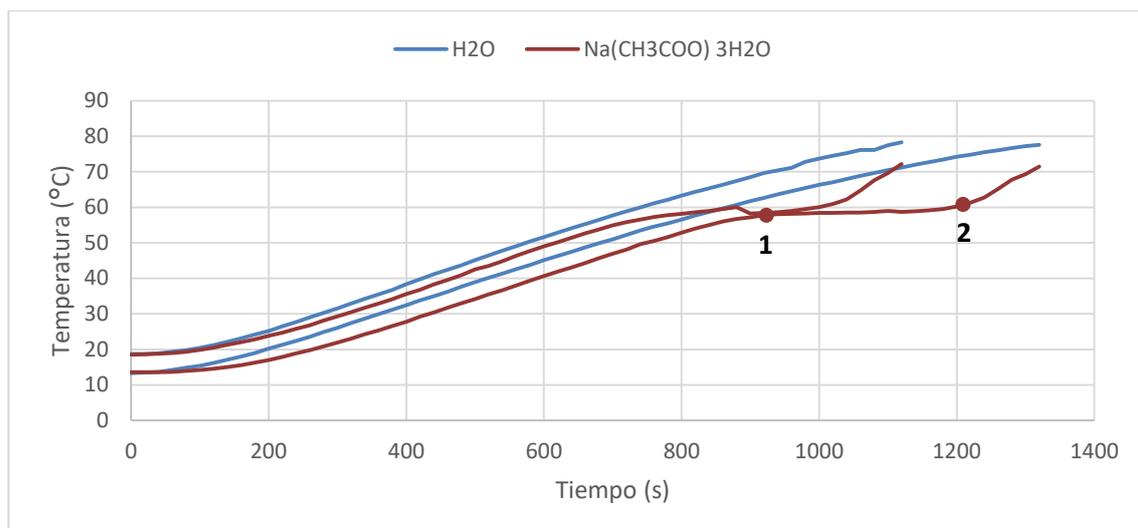


Figura 4-10 Estudio del punto de fusión del Acetato de Sodio trihidratado (Na(CH₃COO) 3H₂O)

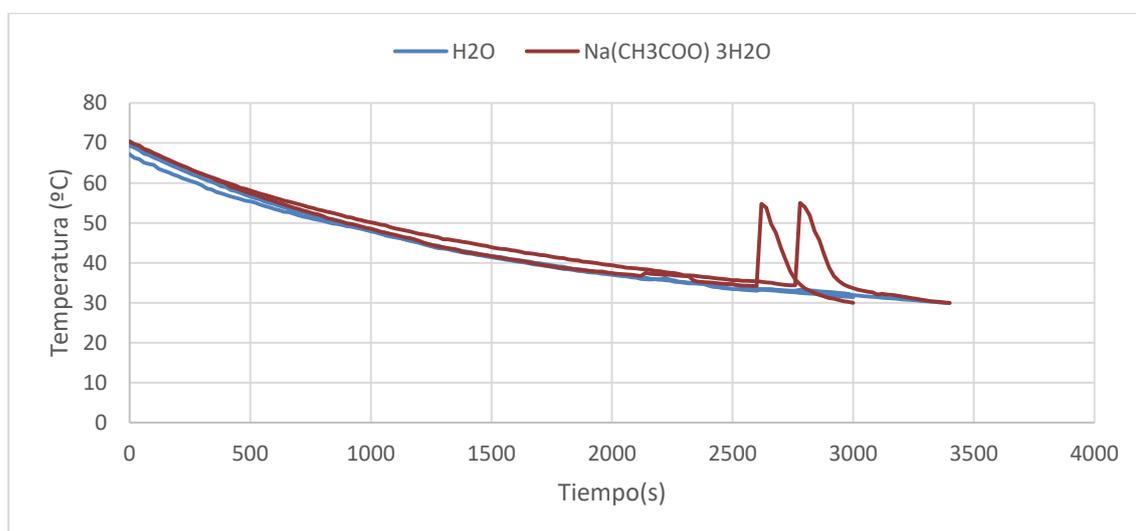


Figura 4-11 Estudio del punto de solidificación del Acetato de Sodio trihidratado (Na(CH₃COO) 3H₂O)

El rango de temperaturas en el que se produce el cambio de fase coincide con lo indicado en la Tabla 3-3.

4.1.4 Parafina

En la Figura 4-15 y Figura 4-13 se muestran los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio para la parafina. Entre los puntos 1 y 2 se muestra el tramo en el que se produce el cambio de fase (Figura 4-12).

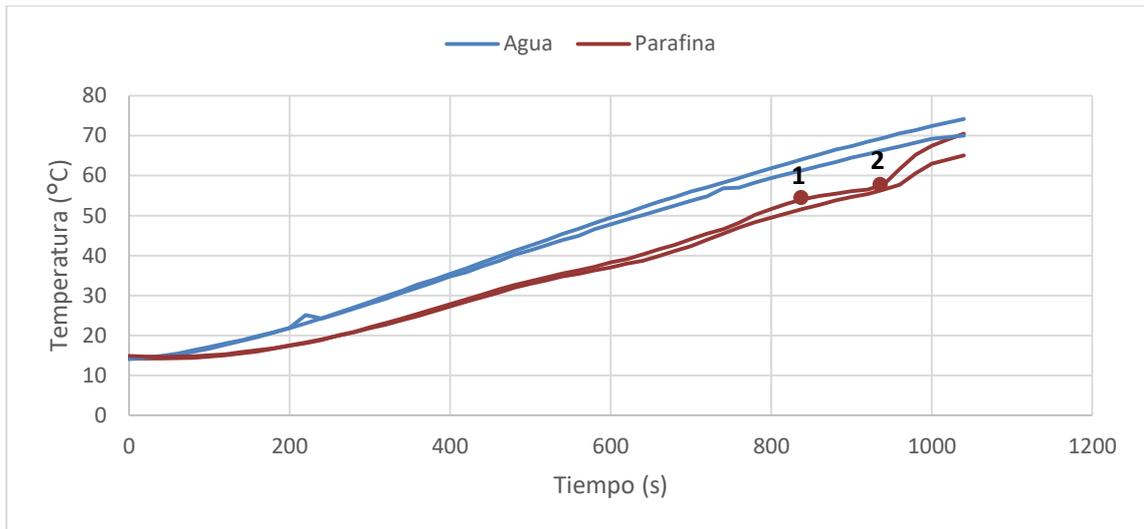


Figura 4-12 Estudio del punto de fusión de la Parafina

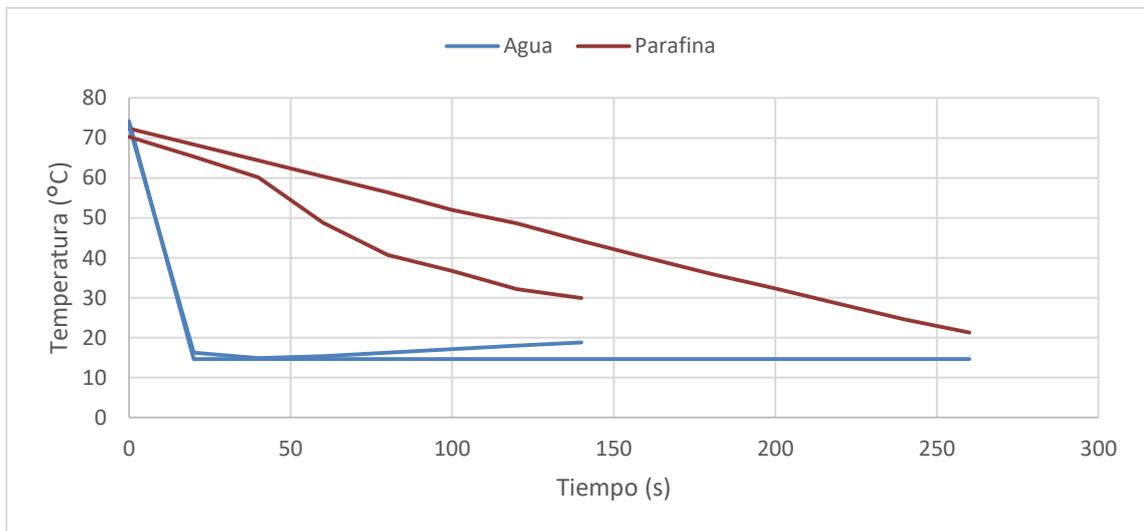


Figura 4-13 Estudio del punto de solidificación de la Parafina

Puesto las gráficas anteriores tienen un comportamiento lineal no se aprecia con claridad el punto de fusión. Por ello, se procede al cálculo más exacto mediante el diferencial de temperatura de fusión del segundo ensayo (Véase Figura 4-15).

$$T_f = \frac{T_i + T_{fi}}{2}$$

$$T_f = \frac{44,1 + 56,1}{2} = 50,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde,

T_f : Temperatura de fusión

T_i : Temperatura inicial

T_{fi} : Temperatura final

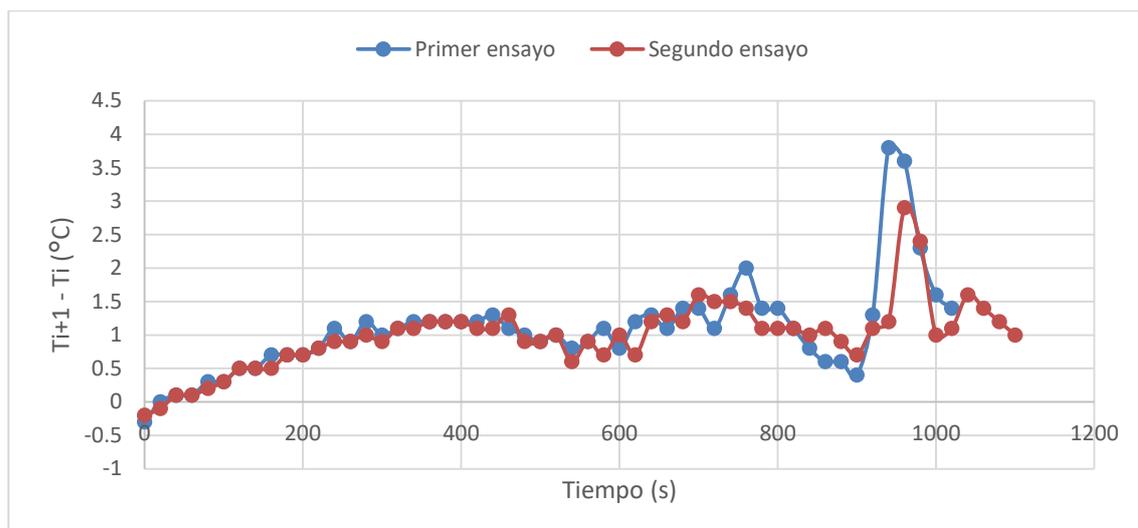


Figura 4-14 Diferencial de temperaturas de fusión de la Parafina

Para ver de forma más clara el proceso de fusión, se calcularon los diferenciales de temperatura inter-medidas (Figura 4-14).

4.1.5 Estearina

Se muestran a continuación gráficos que representan los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio para la estearina (Véase Figura 4-15 y Figura 4-16). Se observa que el punto de fusión se encuentra entre los 55 y 57 $^{\circ}\text{C}$, dato coincidente con lo indicado en Tabla 3-3.

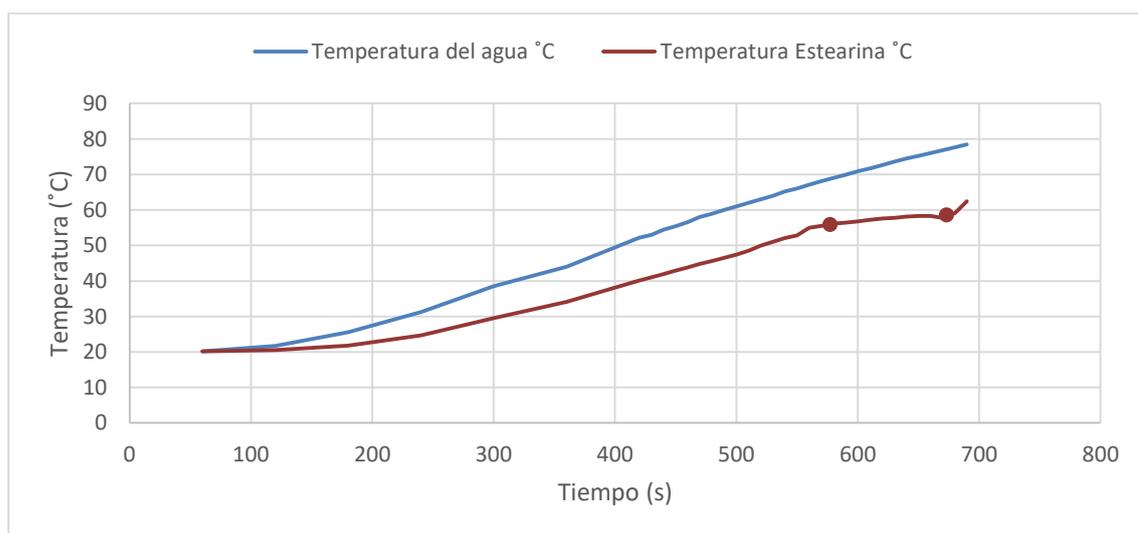


Figura 4-15 Estudio del punto de fusión de la Estearina

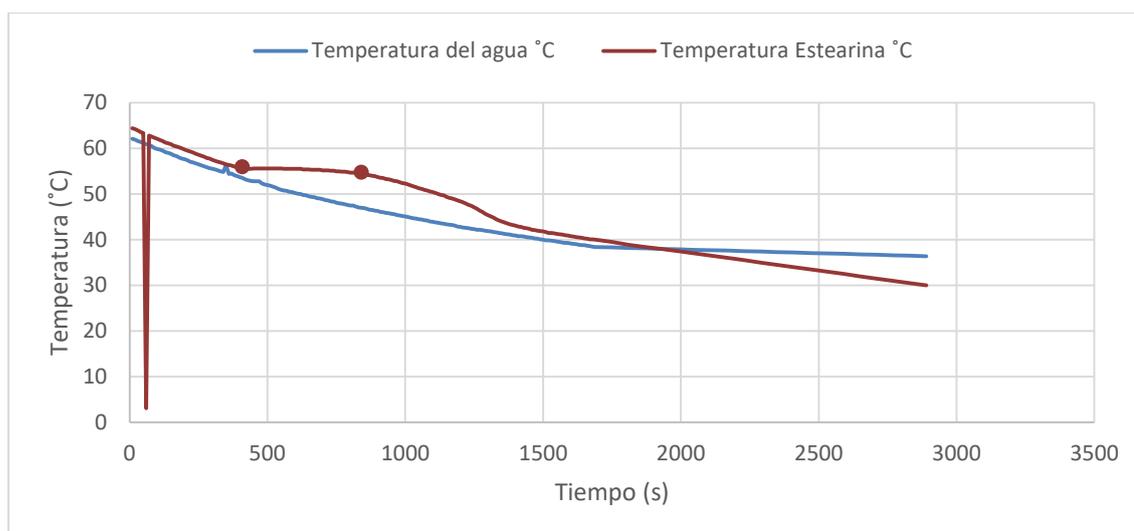


Figura 4-16 Estudio del punto de solidificación de la Estearina

4.1.6 Comparativa de los resultados experimentales con fuentes bibliográficas (temperatura de fusión)

A modo de resumen, en la Tabla 4-1 se comparan los resultados obtenidos experimentalmente con datos de fuentes bibliográficas.

PCM	Experimental	Fuentes bibliográficas
Tiosulfato de Sodio pentahidratado	48,45°C	48,5°C
Nitrato de Zinc tetrahidratado	33,7°C	36°C
Acetato de Sodio trihidratado	58°C	58°C
Parafina	50,1°C	58-60°C
Estearina	55,6°C	58°C

Tabla 4-1 Puntos de fusión de PCM

4.2 Probetas

Tras el proceso de elaboración de las probetas, éstas se dejan solidificar en unas hueveras. Se observa que las resinas WWA solidifican correctamente en el tiempo establecido. No ocurre lo mismo con las resinas epoxi VLS; no todas solidifican. Se empieza aquí a investigar el motivo por el cual no solidifican. Se plantean dos hipótesis; que sea debido al PCM o que se deba a la humedad del ambiente.

Por ello, se crean tres muestras más que se introducen en la campana de secado para que curen en un ambiente libre de humedad (Véase Tabla 3-7). La conclusión que se obtiene de este ensayo es que la humedad no es la responsable de éste fenómeno, pues sólo una muestra solidifica en el espacio de tiempo especificado por el fabricante de la resina. Sí que se observa que la causa de que no solidifique es la insuficiente cantidad de catalizador a la resina VLS, pues si se observa la muestra F3 incluida en la Tabla 3-7, ésta lleva la misma cantidad en gramos de catalizador que de resina y es la única de las tres muestras que solidifica.

Para corroborar que efectivamente el que no se produjera la solidificación de las probetas que contenían resina VLS era debido a malas proporciones en las cantidades de las distintas sustancias que componían dicha probeta, se procede a volver a calcular las cantidades de cada sustancia que debe contener cada probeta y se realizan. Se aprecia la solidificación de las muestras concluyéndose así el problema planteado.

4.3 Dureza de las probetas

En la Tabla 4-2 se observan los factores que muestran el significado de cada letra.

Factores	-1	+1
A:Tipo de PCM	Nitrato de Zinc tetrahidratado	Tiosulfato de Sodio pentahidratado
B:Resina epoxi	WWA	VLS UV (A)
C:% masa de PCM en función de la masa total	3%	10%
D:Tiempo de ultrasonidos	60 segundos	300 segundos
E:Temperatura del ultrasonidos	30°C	60°C
F:% masa de surfactante en función del PCM	0%	10%

Tabla 4-2 Factores

En la Tabla 4-3 se muestran los resultados de las mediciones de las durezas en las resinas epoxi a las que se les adicionaron sales inorgánicas.

id	Shore A	Shore D	id	Shore A	Shore D
A01	85	39	A09	82	45
A02	98	58	A10	91	60
A03	95	60	A11	94	42
A04	94	63	A12	98	53
A05	0	0	A13	0	0
A06	90	45	A14	0	0
A07	95	48	A15	0	0
A08	94	58	A16	92	54

Tabla 4-3 Durezas de resinas epoxi mezcladas con sales inorgánicas

Por último, se adjunta una tabla con las durezas de las resinas que llevan incorporadas parafina y estearina (Tabla 4-4). Véase la Tabla 3-7 y la Tabla 3-8 para interpretar la Tabla 4-4:

id	Shore A	Shore D	id	Shore A	Shore D
B01	95	80	B09	81	37
B02	93	44	B10	98	62
B03	99	75	B11	91	60
B04	73	26	B12	96	58
B05	91	42	B13	95	60
B06	89	40	B14	81	37
B07	96	71	B15	0	0
B08	89	44	B16	70	28

Tabla 4-4 Dureza de las probetas

Se observa que debido a la incorporación de las sales (PCM), la dureza de las resinas disminuye. Esta disminución es de un 10%. Esto se debe a que las propiedades físicas de un material compuesto son sumas ponderadas según el porcentaje de sus constituyentes. En este caso la dureza sería:

$$X_a * D_a + X_b * D_b = D_t$$

Las X reflejan el porcentaje de componente y las D las durezas.

Las X reflejan el porcentaje de componente y las D las durezas.

En la Tabla 4-5 se muestran las puntuaciones obtenidas para el parámetro de homogeneidad en las resinas epoxi mezcladas con sales inorgánicas. Las Tablas 4-6, Tabla 4-7 y Tabla 4-8 muestran las puntuaciones obtenidas por el resto de probetas, que serán analizadas estadísticamente.

id	homogeneidad	id	homogeneidad
A01	8.7	A09	8.0
A02	4.7	A10	9.3
A03	0.0	A11	7.3
A04	5.3	A12	5.3
A05	0.0	A13	0.0
A06	4.0	A14	7.3
A07	4.0	A15	0.0
A08	5.3	A16	8.0

Tabla 4-5 Homogeneidad de resinas epoxi mezcladas con sales inorgánicas

id	homogeneidad	id	Shore homogeneidad
B01	6.0	B09	4.7
B02	6.0	B10	8.7
B03	8.0	B11	10.0
B04	8.0	B12	8.7
B05	5.3	B13	4.7
B06	4.7	B14	5.3
B07	6.0	B15	7.3
B08	5.3	B16	5.3

Tabla 4-6 Homogeneidad de resinas epoxi mezcladas con parafinas

id	curado	id	curado
A01	10.0	A09	10.0
A02	10.0	A10	10.0
A03	0.0	A11	7.3
A04	10.0	A12	10.0
A05	0.0	A13	0.0
A06	10.0	A14	10.0
A07	8.0	A15	0.0
A08	10.0	A16	10.0

Tabla 4-7 Curado de resinas epoxi mezcladas con sales inorgánicas

id	curado	id	curado
B01	10.0	B09	10.0
B02	9.3	B10	10.0
B03	6.7	B11	10.0
B04	4.7	B12	7.3
B05	10.0	B13	10.0
B06	9.3	B14	10.0
B07	4.7	B15	2.7
B08	5.3	B16	6.7

Tabla 4-8 Curado de resinas epoxi mezcladas con parafinas

Las probetas se clasificaron en base a seis parámetros: tipo de PCM empleado (X_A), tipo de resina epoxi utilizada (X_B), porcentaje en masa del PCM (X_C), tiempo en ultrasonidos (X_D), temperatura del ultrasonidos (X_E) y porcentaje en masa de surfactante (X_F). Para ello se vio la influencia de estos seis parámetros sobre cuatro variables: dureza shore A, dureza shore B, homogeneidad y curado.

Empleando el paquete estadístico R, se desarrollaron unos gráficos de Pareto donde de forma intuitiva se puede observar la influencia de los parámetros en las variables objeto de estudio (Figura 4-17, Figura 4-18, Figura 4-19, Figura 4-20, Figura 4-21, Figura 4-22, Figura 4-23, y Figura 4-24).

Con el objetivo de identificar qué parámetros tienen influencia sobre las cuatro variables objeto de estudio, se sometieron a prueba los modelos predictivos. Para ello se empleó el paquete estadístico SPSS.

En el caso del modelo de la dureza shore A para sales inorgánicas constituido por las variables tipo de PCM, tipo de resina epoxi, porcentaje de PCM, tiempo en ultrasonidos, temperatura del ultrasonidos y porcentaje de surfactante, se demostró, a través de un modelo de regresión lineal paso a paso, que el único parámetro que tiene influencia sobre la dureza shore A es el porcentaje en masa de PCM: modelo estimativo significativo $F(1, 14)=6,71, p < .05$, explicando el 56,9% de la varianza ($R^2=0.569$). En la Figura 4-17 se puede observar que esta relación es negativa. En menor nivel de importancia y sin influencia estadísticamente significativa, estaría el tipo de resina empleado y el tipo de PCM. Resultados homólogos se encontraron en el caso de la dureza shore B $F(1, 14)=6,789, p < .05$, explicando la variable porcentaje en masa de PCM el 57,1% de la varianza ($R^2=0.571$). En el diagrama de Pareto se puede observar que esta relación es negativa (Figura 4-19). Al igual que en el caso anterior, encontramos que con menor nivel de importancia y sin influencia estadísticamente significativa, estaría el tipo de resina empleado y el tipo de PCM (Figura 4-19). En lo que respecta la variable curado, se encontró que el parámetro que tiene influencia significativa es el tipo de PCM empleado $F(1, 14)=10,797, p < .01$, explicando el 66% de la varianza ($R^2=0.660$). No se encontró relación significativa entre ningún parámetro y la homogeneidad.

En lo que respecta a las parafinas, se encontró que no existe relación estadísticamente significativa entre ningún parámetro (i.e. tipo de PCM, tipo de resina epoxi, porcentaje de PCM, tiempo en ultrasonidos, temperatura del ultrasonidos y porcentaje de surfactante) y las durezas shore A y shore B. Aunque ningún parámetro es estadísticamente significativo sobre el nivel de dureza, encontramos que el parámetro que tiene mayor influencia sobre esta variable es el porcentaje en masa de surfactante (Figura 4-18 y Figura 4-20). En lo referente a la variable homogeneidad, se encontró que los parámetros que tienen influencia significativa son el porcentaje de PCM y el tipo de resina $F(2, 13)=11,082, p < .01$, explicando el 63,0% de la varianza ($R^2=0.630$). En el caso de la variable curado, se encontró que el

parámetro que tiene influencia significativa es el tipo de resina $F(1, 14)=23,826, p < .001$, explicando el 63,0% de la varianza ($R^2=0.630$).

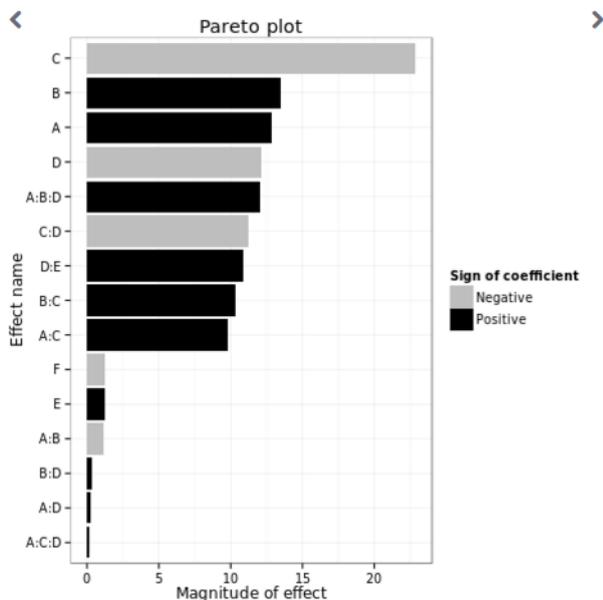


Figura 4-17 Influencia de los factores en la dureza Shore A de resinas epoxi con sales inorgánicas

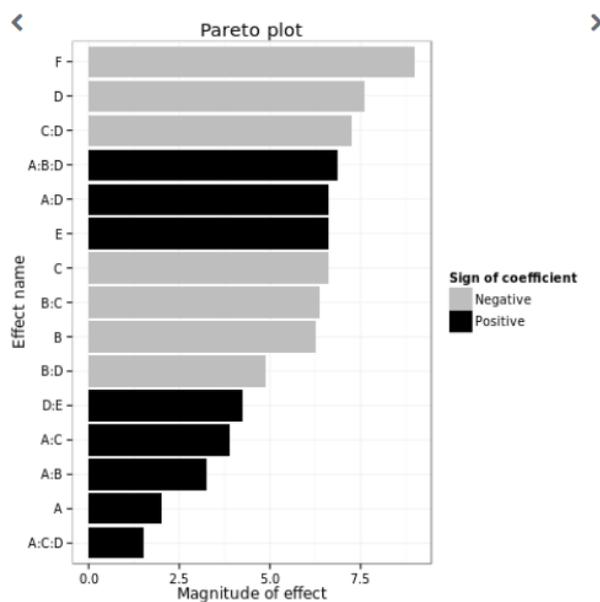


Figura 4-18 Influencia de los factores en la dureza Shore A de resinas epoxi con parafinas

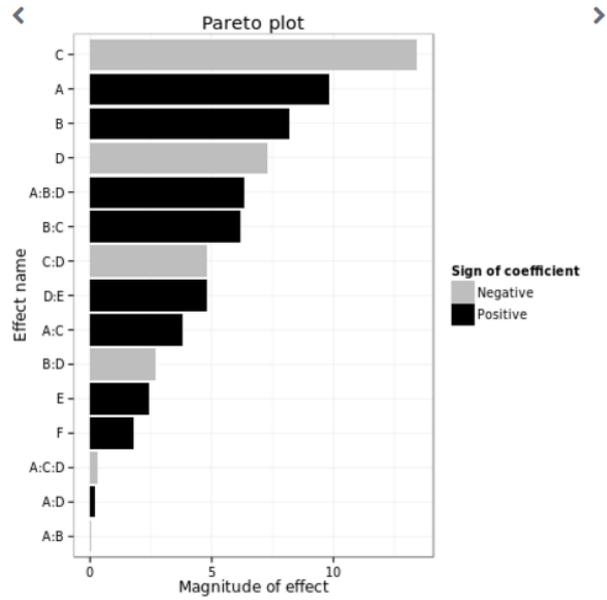


Figura 4-19 Influencia de los factores en la dureza Shore B de resinas epoxi con sales inorgánicas

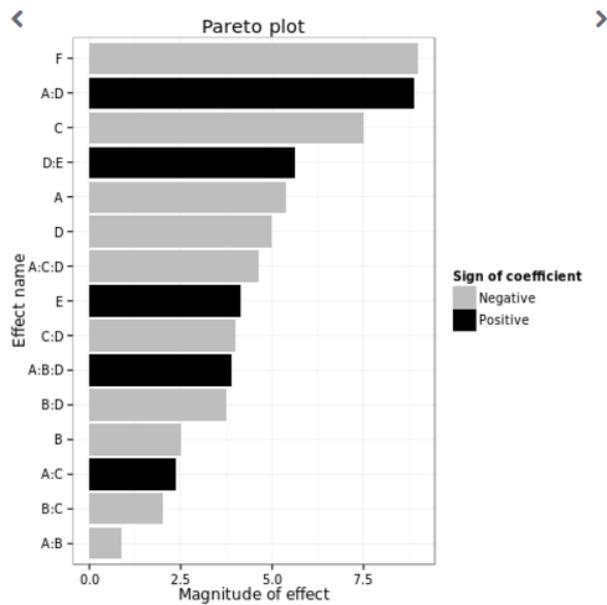


Figura 4-20 Influencia de los factores en la dureza Shore B de resinas epoxi con parafinas

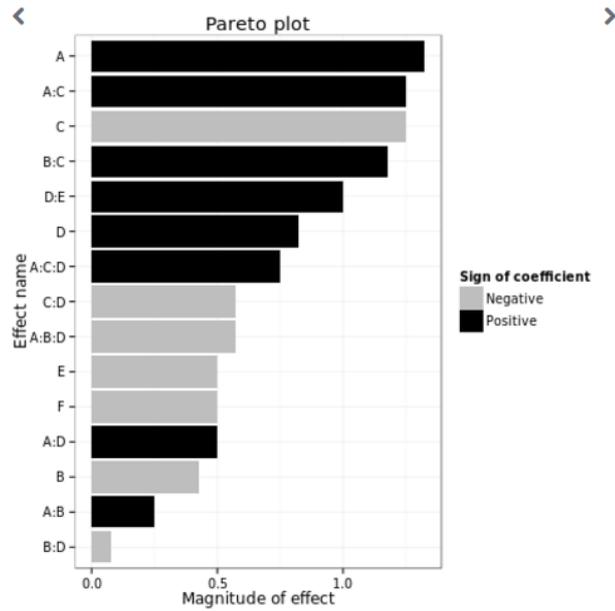


Figura 4-21 Influencia de los factores en la homogeneidad de resinas epoxi con sales inorgánicas

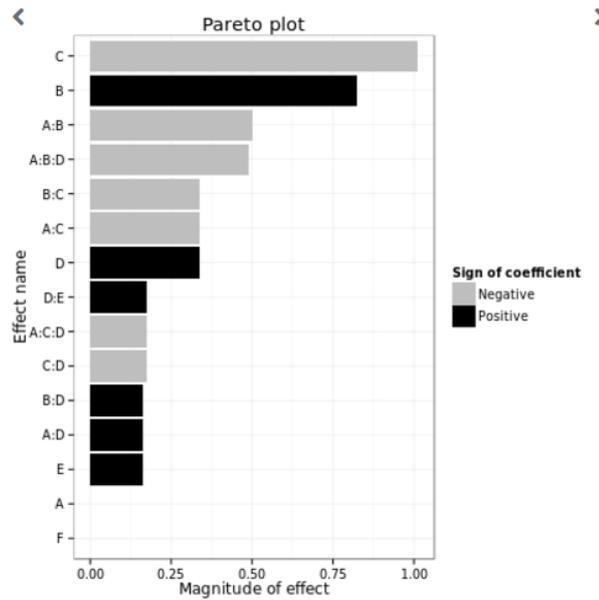


Figura 4-22 Influencia de los factores en la homogeneidad de resinas epoxi con parafinas

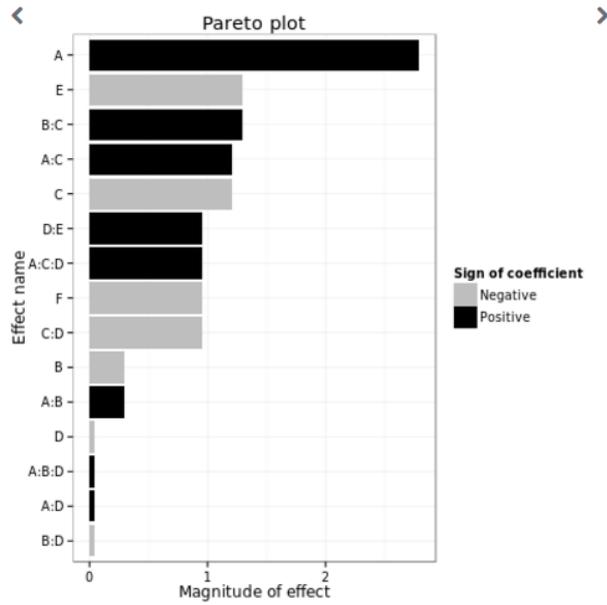


Figura 4-23 Influencia de los factores en el curado de resinas epoxi con sales inorgánicas

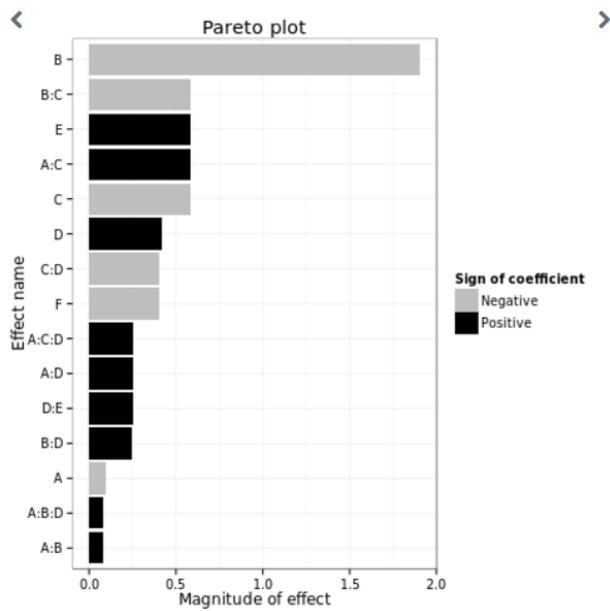


Figura 4-24 Influencia de los factores en el curado de resinas epoxi con parafinas

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones y líneas futuras

Del siguiente proyecto son varias las conclusiones que se obtienen. Dichas conclusiones se dividen según propiedades térmicas, dureza y homogeneidad de las probetas realizadas.

5.1.1 Caracterización de los PCM

Se concluye que a la hora de usar un PCM u otro hay que hacer un estudio previo de la climatología del lugar donde se pretende usar. Cada PCM tiene puntos de fusión distintos; luego se elige uno u otro dependiendo de las condiciones de temperatura donde se usará. Cuiéndonos a la climatología de España, de los PCM usados, el más conveniente, de acuerdo a sus propiedades térmicas, es el Nitrato de Zinc tetrahidratado. Éste tiene su punto de fusión entre los 33°C y 36°C, temperaturas que son frecuentes durante los veranos en la mitad sur de España. En raras ocasiones se alcanzan estas temperaturas en el norte de España.

La aplicación del Nitrato de Zinc tetrahidratado con resina epoxi, en este caso estaría enfocada a pinturas para suelos, o recubrimientos de paredes. El fin sería mantener constante la temperatura del interior de las viviendas en lugares donde las temperaturas rondan los 33°C y 36°C. Al producirse el cambio de estado, el Nitrato de Zinc tetrahidratado almacena energía y se mantiene constante la temperatura. La resina epoxi aportaría las ventajas propias de ella, siendo las principales: la resistencia a la humedad, buen aislamiento eléctrico, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y resistencia química, entre otras.

El resto de materiales de cambio de fase utilizados, al tener puntos de fusión más elevados (entre los 48°C y 58°C) no tendrían utilidad si atendemos a la climatología de una zona. Son temperaturas muy elevadas, casi inexistentes en cualquier lugar del planeta. Sería posible que se diesen dichas temperaturas en algún caso excepcional y no durante un tiempo prolongado. Luego podrían usarse en recubrimientos de maquinaria industrial donde se alcancen dichas temperaturas por un tiempo prolongado.

5.1.2 Dureza

Como aspecto importante cabe reseñar que la dureza de las resinas disminuye al añadirles el PCM. Esta disminución no es muy acusada si se usan las proporciones adecuadas y es totalmente normal, puesto que la dureza de un compuesto es la suma parcial de las diferentes durezas de las sustancias que lo componen.

Quedaría como línea futura el recubrimiento de suelos para verificar la resistencia de éstos a cargas. Se utilizarían dichas mezclas en suelos de diferentes plataformas, pues no es lo mismo el suelo de una

vivienda de hogar, en el que la máxima carga sería la de un mueble por ejemplo, que el suelo de una industria que trabaje con maquinaria pesada.

Los resultados del análisis estadístico para las sales inorgánicas, informaron que la única variable estadísticamente significativa el porcentaje de PCM. En el caso de las parafinas, no se encontró relación estadísticamente significativa entre las durezas shore A y shore B y los parámetros del modelo ((i.e. tipo de PCM, tipo de resina epoxi, porcentaje de PCM, tiempo en ultrasonidos, temperatura del ultrasonidos y porcentaje de surfactante).

5.1.3 Homogeneidad de las mezclas

Quizás es aquí donde nos encontramos con el principal problema, puesto que las mezclas no suelen presentar homogeneidad. De las 39 muestras realizadas, tan sólo 4 muestran una aceptable homogeneidad. Dependiendo de su uso sería posible o no dicha falta de homogeneidad. Por ejemplo, en el interior de una vivienda sería inadmisibles la falta de homogeneidad puesto que se pierde en decoración. Para otros tipos de plataformas, naves industriales, suelos de barcos de guerra o mercantes... sí se podría aceptar cierta falta de homogeneidad, puesto que son lugares de trabajos.

En el caso de las parafinas, del análisis estadístico se deduce que las únicas que tienen una influencia estadísticamente significativa sobre la homogeneidad son el porcentaje en masa de PCM y el tipo de resina epoxi empleada. Para las sales inorgánicas, no se encontró influencia estadísticamente significativa de ningún parámetro (i.e. tipo de PCM, tipo de resina epoxi, porcentaje de PCM, tiempo en ultrasonidos, temperatura del ultrasonidos y porcentaje de surfactante).

Quedaría como línea futura mejorar la homogeneidad de las mezclas.

5.2 Otras líneas futuras

Queda, además, pendiente el uso de PCM macroencapsulados en el futuro para su estudio y posibles aplicaciones.

Por último, se debe estudiar los ciclos de trabajo de los diferentes PCM usados. Esto se debe a que con el paso del tiempo, las propiedades de dichos PCM pueden variar y, por lo tanto, no ser adecuados para cumplir su función. Habría entonces que estudiar cuantas veces puede fundir y solidificar un PCM sin que varíen notablemente sus propiedades. Quizás sea ésta la línea futura más importante, puesto que evitaría pérdidas económicas; un PCM que pierda sus propiedades con pocos ciclos no sería rentable. No obstante, también se podrían estudiar posibles reparaciones para prolongar la vida útil, aunque lo mejor es la búsqueda de PCM con elevados ciclos de trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. O. Campos Maya, “Incorporación de PCM en elementos constructivos para la mejora energética,” 2010.
- [2] J. Moreno Carmona, “Caracterización de materiales de cambio de fase para su aplicación en revestimientos y acabados,” 2013.
- [3] D. García Sanoguera, R. Balart Gimeno, S. Ferrándiz Bou, and D. Juárez Varón, “Estudio de materiales con cambio de fase (PCM) y análisis SEM de micro pcm,” *3ciencias*, no. 3, 2012.
- [4] D. Juárez Varón, S. Ferrándiz Bou, and R. Balart Gimeno, *Análisis del estado del arte de elastómeros termoplásticos y mejora del confort térmico para el sector de ortopedia del pie y puericultura ligera*. 3ciencias, Área de Innovación y Desarrollo, 2015.
- [5] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering*, vol. 29. 2009.
- [6] A. Cerezuela Parish, “Estudio térmico de las fachadas ventiladas con aletas de material de cambio de fase,” Escuela Superior de Ingenieros, 2007.
- [7] A. Oliver, F. J. Neila, and A. García-Santos, “Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica,” *Mater. Construcción*, vol. 62, no. 305, pp. 131–140, Mar. 2012.
- [8] L. Bilurbina and F. Liesa, *Materiales no metálicos resistentes a la corrosión*. Marcombo, 1990.
- [9] M. Kheradmand, M. Azenha, J. L. B. de Aguiar, and K. J. Krakowiak, “Thermal behavior of cement based plastering mortar containing hybrid microencapsulated phase change materials,” *Energy Build.*, vol. 84, pp. 526–536, Dec. 2014.
- [10] “Interpreting DSC curves Part 1: Dynamic measurements,” 2000.
- [11] Universidad Complutense de Madrid. (28/02/2017). *Subenfriamiento* [Online]. Available: <https://cv3.sim.ucm.es/wiki/site/curriculo-3313-1/Subenfriamiento@7.html>.

ANEXO I. PROGRAMA PARAMETRIZACIÓN

```
# Factores Independientes
A <- B <- C <- D <- c(-1, +1)
design <- expand.grid(A=A, B=B, C=C, D=D)
A <- design$A
B <- design$B
C <- design$C
D <- design$D

# Factores Dependientes
E <- A*B*C
F <- B*C*D

# Resultados Experimentales
shoreA_parafinas <- c(95, 93, 99, 73, 91, 89, 96, 89, 81, 89, 91, 96, 95,
81, 0, 70)
shoreB_parafinas <- c(80, 44, 75, 26, 42, 40, 71, 44, 37, 62, 60, 58, 60,
37, 0, 28)
shoreA_sales <- c(85, 98, 95, 94, 0, 90, 95, 94, 82, 91, 94, 98, 0, 0, 0, 92)
shoreB_sales <- c(39, 58, 60, 63, 0, 45, 48, 58, 45, 60, 42, 53, 0, 0, 0, 54)
homogeneidad_parafinas <- c(6, 6, 8, 8, 5.3, 4.7, 6, 5.3, 4.7, 8.7, 10, 8.7,
4.7, 5.3, 7.3, 5.3)
homogeneidad_sales <- c(8.7, 4.7, 0.0, 5.3, 0.0, 4.0, 4.0, 5.3, 8.0, 9.3,
7.3, 5.3, 0.0, 7.3, 0.0, 8.0)
curado_parafinas <- c(10, 9.3, 6.7, 4.7, 10, 9.3, 4.7, 5.3, 10, 10, 10, 7.3,
10, 10, 2.7, 6.7)
curado_sales <- c(10, 10, 0, 10, 0, 10, 8, 10, 10, 10, 7.3, 10, 0, 10, 0, 10)

# Modelo Lineal
y <- homogeneidad_parafinas #reemplazar por el resultado experimental a modelar
mod <- lm(y ~ A*B*C*D*E*F)
mod <- lm(y ~ A*B*C*D*E*F)
summary(mod)

# Plot de Pareto
library(pid)
paretoPlot(mod)
```

ANEXO I. RESULTADOS PARAMETRIZACIONES

I.1 Resultados parametrización dureza Shore A sales inorgánicas

Call:

```
lm(formula = y ~ A * B * C * D * E * F)
```

Residuals:

ALL 16 residuals are 0: no residual degrees of freedom!

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	69.250	NA	NA	NA
A	12.875	NA	NA	NA
B	13.500	NA	NA	NA
C	-22.875	NA	NA	NA
D	-12.125	NA	NA	NA
E	1.250	NA	NA	NA
F	-1.250	NA	NA	NA
A:B	-1.125	NA	NA	NA
A:C	9.750	NA	NA	NA
B:C	10.375	NA	NA	NA
A:D	0.250	NA	NA	NA
B:D	0.375	NA	NA	NA
C:D	-11.250	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	10.875	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	12.000	NA	NA	NA
A:C:D	0.125	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA

B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA
B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

I.2 Resultados parametrización dureza Shore A compuestos parafinas

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	83.000	NA	NA	NA
A	2.000	NA	NA	NA
B	-6.250	NA	NA	NA
C	-6.625	NA	NA	NA
D	-7.625	NA	NA	NA
E	6.625	NA	NA	NA
F	-9.000	NA	NA	NA
A:B	3.250	NA	NA	NA
A:C	3.875	NA	NA	NA
B:C	-6.375	NA	NA	NA
A:D	6.625	NA	NA	NA
B:D	-4.875	NA	NA	NA
C:D	-7.250	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	4.250	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	6.875	NA	NA	NA
A:C:D	1.500	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA
B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA

B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

I.3 Resultados parametrización dureza Shore B sales inorgánicas

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	39.0625	NA	NA	NA
A	9.8125	NA	NA	NA
B	8.1875	NA	NA	NA
C	-13.4375	NA	NA	NA
D	-7.3125	NA	NA	NA
E	2.4375	NA	NA	NA
F	1.8125	NA	NA	NA
A:B	-0.0625	NA	NA	NA
A:C	3.8125	NA	NA	NA
B:C	6.1875	NA	NA	NA
A:D	0.1875	NA	NA	NA
B:D	-2.6875	NA	NA	NA
C:D	-4.8125	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	4.8125	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	6.3125	NA	NA	NA
A:C:D	-0.3125	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA
B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA

B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

I.4 Resultados parametrización dureza Shore B compuestos parafinas

Call:

```
lm.default(formula = y ~ A * B * C * D * E * F)
```

Residuals:

ALL 16 residuals are 0: no residual degrees of freedom!

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	47.750	NA	NA	NA
A	-5.375	NA	NA	NA
B	-2.500	NA	NA	NA
C	-7.500	NA	NA	NA
D	-5.000	NA	NA	NA
E	4.125	NA	NA	NA
F	-9.000	NA	NA	NA
A:B	-0.875	NA	NA	NA
A:C	2.375	NA	NA	NA
B:C	-2.000	NA	NA	NA
A:D	8.875	NA	NA	NA
B:D	-3.750	NA	NA	NA
C:D	-4.000	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	5.625	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	3.875	NA	NA	NA
A:C:D	-4.625	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA

B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA
B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

I.5 Resultados parametrización homogeneidad sales inorgánicas

Call:

```
lm.default(formula = y ~ A * B * C * D * E * F)
```

Residuals:

ALL 16 residuals are 0: no residual degrees of freedom!

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.825	NA	NA	NA
A	1.325	NA	NA	NA
B	-0.425	NA	NA	NA
C	-1.250	NA	NA	NA
D	0.825	NA	NA	NA
E	-0.500	NA	NA	NA
F	-0.500	NA	NA	NA
A:B	0.250	NA	NA	NA
A:C	1.250	NA	NA	NA
B:C	1.175	NA	NA	NA
A:D	0.500	NA	NA	NA
B:D	-0.075	NA	NA	NA
C:D	-0.575	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	1.000	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	-0.575	NA	NA	NA
A:C:D	0.750	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA

B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA
B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

I.6 Resultados parametrización homogeneidad compuestos parafinas

Call:

```
lm.default(formula = y ~ A * B * C * D * E * F)
```

Residuals:

ALL 16 residuals are 0: no residual degrees of freedom!

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.500e+00	NA	NA	NA
A	-3.511e-16	NA	NA	NA
B	8.250e-01	NA	NA	NA
C	-1.013e+00	NA	NA	NA
D	3.375e-01	NA	NA	NA
E	1.625e-01	NA	NA	NA
F	-1.861e-16	NA	NA	NA
A:B	-5.000e-01	NA	NA	NA
A:C	-3.375e-01	NA	NA	NA
B:C	-3.375e-01	NA	NA	NA
A:D	1.625e-01	NA	NA	NA
B:D	1.625e-01	NA	NA	NA
C:D	-1.750e-01	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	1.750e-01	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	-4.875e-01	NA	NA	NA
A:C:D	-1.750e-01	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA

B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA
B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

I.7 Resultados parametrización curado sales inorgánicas

Call:

```
lm.default(formula = y ~ A * B * C * D * E * F)
```

Residuals:

ALL 16 residuals are 0: no residual degrees of freedom!

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.20625	NA	NA	NA
A	2.79375	NA	NA	NA
B	-0.29375	NA	NA	NA
C	-1.20625	NA	NA	NA
D	-0.04375	NA	NA	NA
E	-1.29375	NA	NA	NA
F	-0.95625	NA	NA	NA
A:B	0.29375	NA	NA	NA
A:C	1.20625	NA	NA	NA
B:C	1.29375	NA	NA	NA
A:D	0.04375	NA	NA	NA
B:D	-0.04375	NA	NA	NA
C:D	-0.95625	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	0.95625	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	0.04375	NA	NA	NA
A:C:D	0.95625	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA

B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA
B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

I.8 Resultados parametrización curado compuestos parafinas

Call:

```
lm.default(formula = y ~ A * B * C * D * E * F)
```

Residuals:

ALL 16 residuals are 0: no residual degrees of freedom!

Coefficients: (48 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.91875	NA	NA	NA
A	-0.09375	NA	NA	NA
B	-1.90625	NA	NA	NA
C	-0.58125	NA	NA	NA
D	0.41875	NA	NA	NA
E	0.58125	NA	NA	NA
F	-0.40625	NA	NA	NA
A:B	0.08125	NA	NA	NA
A:C	0.58125	NA	NA	NA
B:C	-0.58125	NA	NA	NA
A:D	0.25625	NA	NA	NA
B:D	0.24375	NA	NA	NA
C:D	-0.40625	NA	NA	NA
A:E	NA	NA	NA	NA
B:E	NA	NA	NA	NA
C:E	NA	NA	NA	NA
D:E	0.25625	NA	NA	NA
A:F	NA	NA	NA	NA
B:F	NA	NA	NA	NA
C:F	NA	NA	NA	NA
D:F	NA	NA	NA	NA
E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C	NA	NA	NA	NA
A:B:D	0.08125	NA	NA	NA
A:C:D	0.25625	NA	NA	NA
B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:E	NA	NA	NA	NA
A:C:E	NA	NA	NA	NA
B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:D:E	NA	NA	NA	NA

B:D:E	NA	NA	NA	NA
C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:F	NA	NA	NA	NA
A:C:F	NA	NA	NA	NA
B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:D:F	NA	NA	NA	NA
B:D:F	NA	NA	NA	NA
C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:E:F	NA	NA	NA	NA
B:E:F	NA	NA	NA	NA
C:E:F	NA	NA	NA	NA
D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA
A:B:C:D:E:F	NA	NA	NA	NA

Residual standard error: NaN on 0 degrees of freedom

Multiple R-squared: 1, Adjusted R-squared: NaN

F-statistic: NaN on 15 and 0 DF, p-value: NA

ANEXO II. FOTOGRAFÍAS PROBETAS PCM SALES INORGÁNICAS

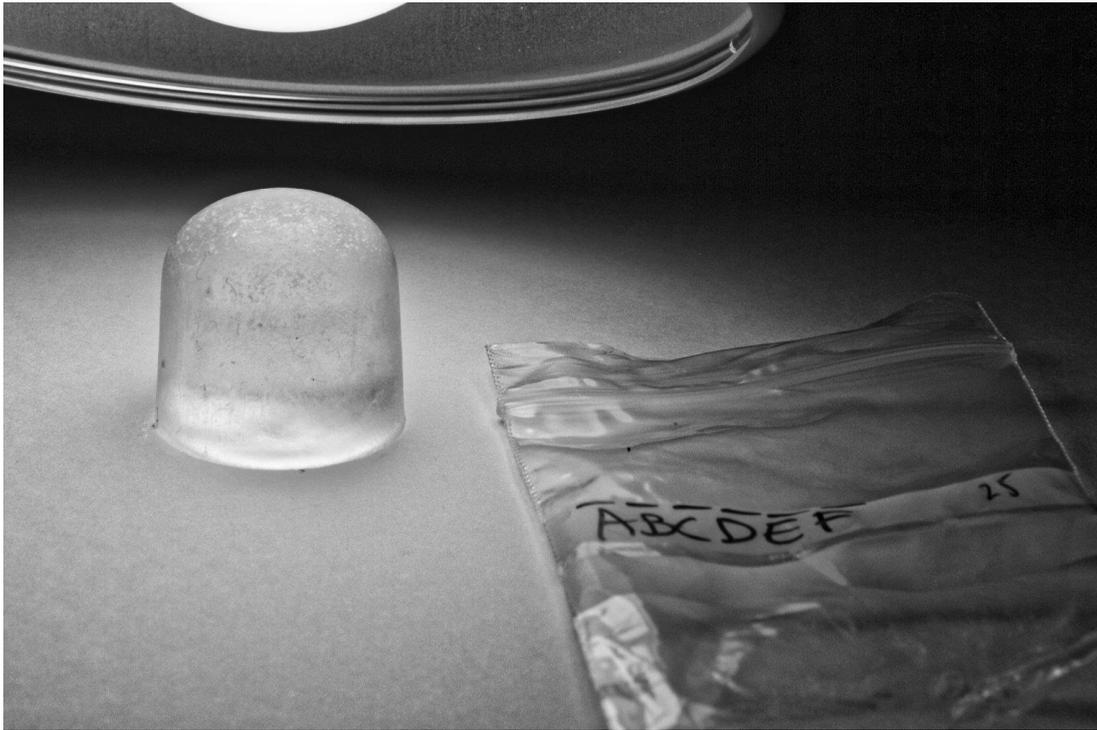


Figura III-1 Muestra A01

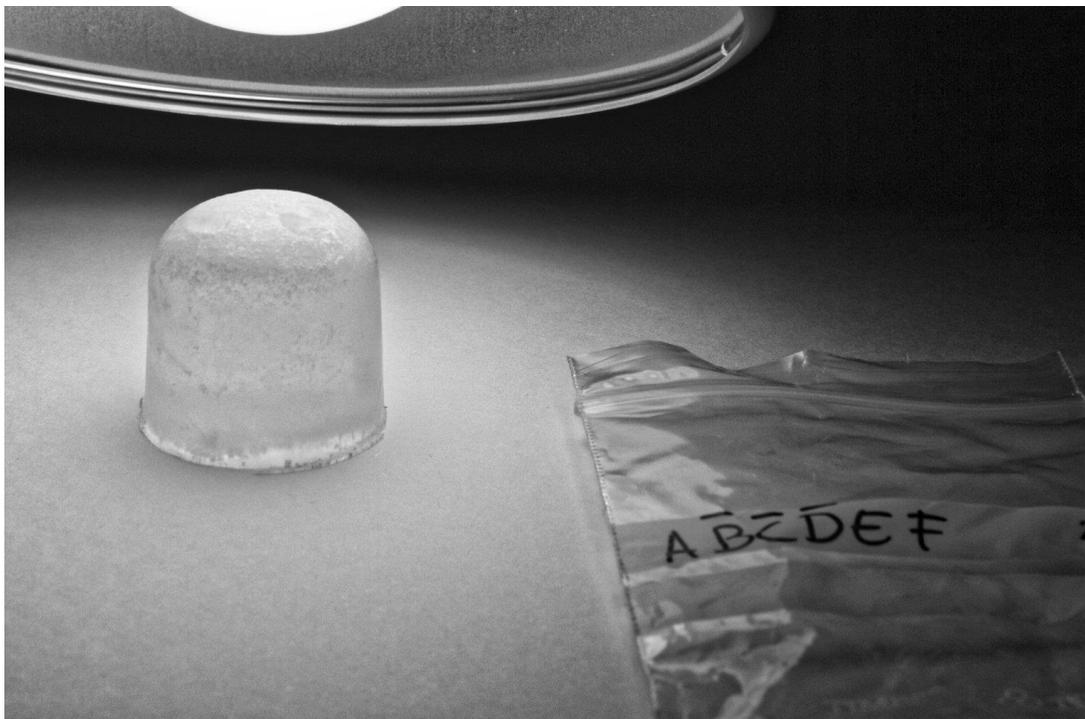


Figura III-2 Muestra A02



Figura III-3 Muestra A03



Figura III-4 Muestra A04

NO SOLIDIFICÓ

Figura III-5 Muestra A05



Figura III-6 Muestra A06



Figura III-7 Muestra A07



Figura III-8 Muestra A08



Figura III-9 Muestra A09

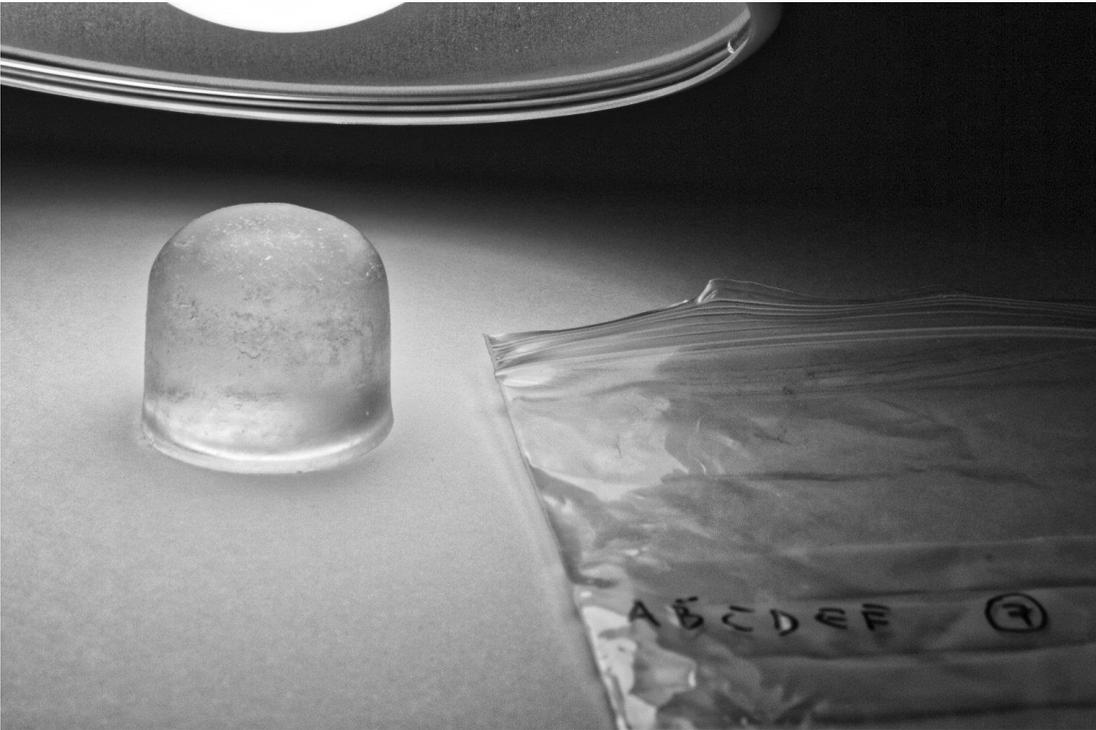


Figura III-10 Muestra A10



Figura III-11 Muestra A11



Figura III-12 Muestra A12

NO SOLIDIFICÓ

Figura III-13 Muestra A13

NO SOLIDIFICÓ

Figura III-14 Muestra A14

NO SOLIDIFICÓ

Figura III-15 Muestra A15



Figura III-16 Muestra A16

ANEXO III. MATERIAL DE LABORATORIO

III.1 Calefactor - Agitador magnético

SH 2/3 MAGNETIC STIRRER HOT PLATE



Descriptions:

It is used when liquid heating is needed in industry, agriculture, health and medicine, scientific research and college labs etc.

Features:

- Die-casting & stretching roof cover; fabrication processed exterior to prevent leaking
- Heating and stirring can proceed simultaneously
- Enclosed heating plate with characteristics of flame protection, fast warm-up and durability
- Heating power and stirring speed is stepless adjusted

Specifications:

Models	SH-2	SH-3
Power supply	AC110/220V, 50/60Hz	
Heating power	180W	500W
Motor power	10W	20W
Temperature range	RT~380°C	
Stirring speed	0~1600rpm	
Plate size	118×118mm	170×170mm
Stirring capacity	500ml	1000ml
Overall dimensions	200×120×90mm	250×175×120mm
Packing dimensions	265×205×150mm	265×205×150mm

III.2 Termómetro hanna checktemp 1 hi 98509

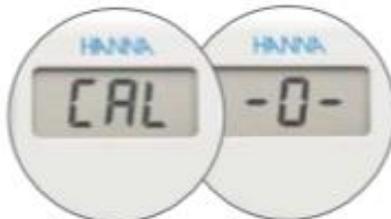
HI 98509 Checktemp®1

Digital Thermometer with Stainless Steel probe attached to a 3.3' silicone cable

The Checktemp®1 is a high-accuracy thermometer with a 1 m (3.3') flexible, silicone cable connecting the meter and the stainless steel probe. The sharp-tip penetration probe easily lances semi-solid products such as fruits, vegetables, and cheeses. This probe can also handle liquid, air and measurements in frozen materials. The probe incorporates an NTC thermistor sensor to measure the temperature. Thermistors make it possible to obtain extremely high accuracy in a very short period of time.

The Hanna CAL CHECK® feature has been incorporated into the Checktemp®1 for reliable and accurate measurements. CAL CHECK® automatically runs a self check upon startup and reports status back to the user; 0 for ok and Err if something is wrong.

Checktemp®1 makes routine controls fast and simple for both incoming and outgoing goods. Constructed of AISI 316 stainless steel material, this probe is in compliance with food regulations, making it an ideal instrument for measuring temperature according to HACCP requirements.



- **CAL CHECK®**
 - Automatically verifies calibration at startup and alerts the user of the calibration status.
- **Save battery life with Auto-Off**
 - With the Auto-Off feature, select from 8 min., 60 min., or turn the feature off.
- **HACCP**
 - Use as a tool for control in HACCP analysis.
- **Large display**
 - The large display features a wide environmental temperature range and viewing angle.



- **IP 65 water resistant protection**
- **Silicone probe cable**
 - 3.3' silicone cable maintains flexibility and performance in applications where temperatures are widely variable.
- **AISI 316 stainless steel penetration probe**

Select Between °C or °F Measurement in One Tester



III.3 Balanza electrónica gram blauscal ah-600



Balanza de laboratorio de gama alta. Capacidad de 1500 gramos y de resolución 0,2 g. (centésimas de gramo). Esta máquina está fabricada para dar un servicio ejemplar en su laboratorio. Dispone entre otras muchas, batería interna recargable con una autonomía de hasta 200 horas, autocalibración electrónica, teclado hermético resistente a la caída de líquidos, luz interna en el display para lecturas cómodas con poca luz, cálculo de porcentaje, etc.

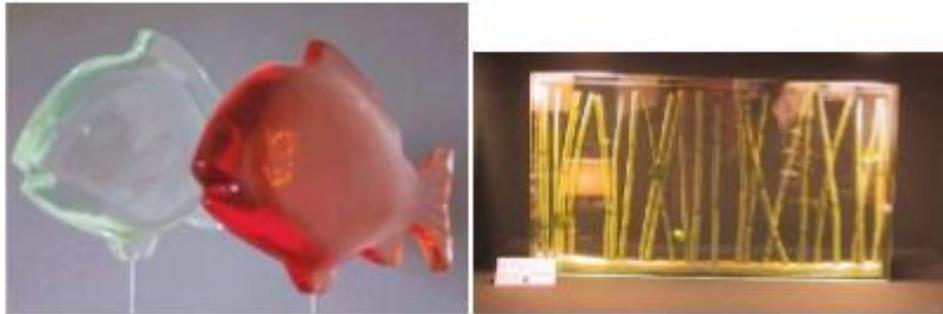
- Características:
- Capacidad: 1500 gramos.
- Precisión: 0,2 g.
- Tamaño plato: 122x144 mm
- Autocalibración
- Función de tara, cuentapiezas, porcentajes...etc
- Batería interna recargable
- Aviso de sobrecarga

III.4 Resina epoxi Resoltech WWA



RESOLTECH WWA

Resina epoxi para coladas transparentes



DESCRIPCIÓN

RESOLTECH WWA es un sistema epoxi único formulado para aplicaciones de colada y decorativas. Es totalmente transparente, estabilizado al UV, sin disolventes y compatible con el cristal. La RESOLTECH WWA tiene excelentes propiedades ópticas. No contrae.

PREPARACIÓN

WWA puede ser empleada para fabricar piezas decorativas por colada o inclusiones. Dispone de un tiempo de trabajo largo, facilidad de manejo y baja exotermia.

RELACIÓN DE MEZCLA

A diferencia de la mayoría de las resinas epoxi, la resina WWA tiene una relación de mezcla variable. El mezclado es crítico y debe ser preciso.

EN VOLUMEN:

Con 2 partes de resina WWA o WWAS por cada parte de endurecedor WWB se obtendrá una colada dura una vez curada. Esta relación de mezcla es la apropiada para coladas sin inclusiones. Se pueden fabricar piezas de geometrías diversas, piezas de decoración (ver fotografías al final de esta ficha técnica), etc.

Con 1 parte de resina WWA o WWAS por cada parte de endurecedor WWB se obtendrá una colada flexible una vez curada. Esta mezcla es apropiada para coladas dentro de contenedores de cristal. La resina en este caso absorbe la dilatación del cristal.

RESINAS CASTRO S. L.

Pol. Ind. A Granxa, 3ª Paralela, C/ Cíes 190
36400 O Porriño - Pontevedra - España
Tlf.: 986 342 953 / Fax: 986 342 520
info@castrocomposites.com
www.castrocomposites.com



Resoltech WWA



Es posible seleccionar cualquier relación de mezcla entre 2 y 1 dependiendo de la aplicación. Verter primero el endurecedor y luego la resina. WWA es un sistema lento, mientras que el WWAS es más rápido.

Ambos líquidos deben ser agitados íntimamente de forma manual o mecánica. Es importante mezclar la cantidad correcta de una vez debido a que las resinas epoxi son sistemas que tienden a desarrollar exotermias cuando se mantienen en los envases una vez mezclados. La mezcla debe ser homogénea para obtenerse resultados ópticos óptimos.

APLICACIONES

La resina WWA puede ser vertida dentro de un molde. El molde puede ser duro o flexible (de silicona). El moldeo puede ser llevado a cabo con o sin vacío. La resina WWA no atrapa burbujas de aire con facilidad y no se calienta en exceso si se emplea correctamente.

La temperatura de trabajo deberá estar entre los 18 °C y los 25 °C. El grado de humedad relativa será inferior al 70%.

El tiempo de gel es el siguiente, para 500 g de mezcla a 22 °C:

Mezcla 2 + 1 = 10 horas con WWA; 1 hora con WWAS (Coladas decorativas)

Mezcla 1 + 1 = 24 horas con WWA; 3 horas con WWAS (Para coladas en contenedores de cristal. En este caso la resina resiste las dilataciones del cristal)

Si se desea aplicar una nueva colada sobre una anterior ya curada, la superficie de contacto deberá ser lijada para aumentar la adherencia.

CURADO

Las piezas pueden ser desmoldeadas, a 22 °C, después de: Mezcla 2 + 1: 19 horas con WWA; 8 horas con WWAS

Mezcla 1 + 1: 72 horas con WWA; 15 horas con WWAS

PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS

Propiedades obtenidas a 22 °C.

Aspecto de las resinas WWA y WWAS	Líquido transparente, viscosidad de 1000 mPas
Aspecto del endurecedor WWB	Líquido transparente, viscosidad de 150 mPas
Aspecto de la mezcla	Líquido transparente, viscosidad de 300 a 450 mPas
Densidad de la mezcla	1,1 g/cm ³
Dureza	95 Shore D (mezcla 2 + 1) / 70 Shore A (mezcla 1 +1)
Elongación a rotura	8% para la mezcla 2 + 1 / 98% para la mezcla 1 +1
Resistencia a tracción	66 MPas (mezcla 2 + 1) / 18 MPas (mezcla 1 + 1)
Resistencia a flexión	105 MPas (mezcla 2 + 1) / 15 MPas (mezcla 1 + 1)

RESINAS CASTRO S. L.

Pol. Ind. A Granxa, 3ª Paralela, C/ Cíes 190
36400 O Porriño - Pontevedra - España
Tlf.: 986 342 953 / Fax: 986 342 520
info@castrocomposites.com
www.castrocomposites.com



Resoltech WWA

III.5 Resina epoxi VLS UV



RESOLCOAT VLS UV

Resina epoxi transparente flexible

DESCRIPCIÓN

RESOLCOAT VLS UV es un sistema epoxi transparente y estable al UV formulado para producir recubrimientos de alto brillo en grandes espesores para realzar madera y otros soportes. Este sistema es muy empleado para la producción de pegatinas con relieve de resina (efecto cúpula).

Esta resina es resistente al agua y fácil de aplicar en films de 1 a 4 mm. Combina una baja toxicidad, con altas resistencias mecánicas y a la abrasión.

RELACIÓN DE MEZCLA

En peso: 100 + 70

En volumen: 4 + 3

Endurecedor disponible: VLSB.

La relación de mezcla debe seguirse de forma rigurosa. No es posible modificar la relación de mezcla, pues ello traería como resultado piezas con peores propiedades mecánicas. La mezcla debe ser íntimamente agitada para asegurar una mezcla homogénea. Es muy importante tener en cuenta que los sistemas epoxi tienden a calentarse mucho más rápido en un envase que en una película fina. Es por tanto necesario mezclar únicamente la cantidad que vayamos a usar teniendo en cuenta el tiempo de gel. Mantener la mezcla en envases planos (bandejas) reduce el riesgo de reacción exotérmica.

La mezcla de los dos componentes debe ser en las proporciones indicadas en esta ficha técnica.

Una vez realizada esta premezcla, y cuando parezca que la mezcla se ha completado perfectamente, se recomienda volcarla en otro envase limpio y seco, donde se volverá a remover para asegurar una completa homogeneización de los dos componentes. Será desde éste último envase, desde el que se realizará el trabajo. Es muy importante atender a esta recomendación para evitar fracasos en el endurecimiento final de la resina epoxi.

APLICACIONES

Los procedimientos típicos de las resinas epoxi son aplicables a la RESOLCOAT VLS UV. Se puede aplicar a brocha o rodillo.

Si se emplea RESOLCOAT VLS UV sobre una superficie ya curada sin haber utilizado un peel ply, se necesita lijar, limpiar y desengrasar la superficie antes de laminar.

RESINAS CASTRO S. L.
Pol. Ind. A Granxa, 3ª Paralela, C/ Cies 190
36400 O Porriño - Pontevedra - España
Tlf: 986 342 953 / Fax: 986 342 520
info@castrocomposites.com
www.castrocomposites.com



Resolcoat VLS UV

CURADO

Condiciones de trabajo: 18 a 25 °C, 70% de humedad máxima.

Tiempo de gel: 30 minutos para 200 g de mezcla a 23 °C

Tiempo para obtener una pieza con tacto seco: 4 horas y 30

minutos Curado completo: 6 horas y 30 minutos

Propiedades obtenidas a 23 °C,

Habrà que tener muy en cuenta que el tiempo de gel es función también de la masa total de resina

+ endurecedor que se prepare y que a mayor masa, menor será el tiempo de gel del sistema.

PROPIEDADES FÍSICAS

Aspecto de la resina	Líquido ligeramente azul
Aspecto del endurecedor	Líquido ligeramente amarillo pálido
Viscosidad de la resina	1200 mPas
Viscosidad del endurecedor	1200 mPas
Viscosidad de la mezcla	1200 mPas
Densidad de la mezcla	1,1 g/cm ³
Brillo 60º	104
T _g	45 °C
Datos obtenidos a 22 °C	

PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia al impacto	18 Julios
------------------------	-----------

SUMINISTRO

RESOLCOAT VLS UV se suministra de la siguiente forma:

En juegos de 1,07 kg, 8,50 kg, 51 kg y bidones de 340 kg.

El plazo de caducidad de este sistema es de un año en envases herméticamente cerrados y alejados del calor o el frío.

SEGURIDAD & HIGIENE

La zona de trabajo debe estar limpia y con ventilación. Debe evitarse todo contacto con piel y ojos de la resina y del endurecedor. En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua y acudir al médico con urgencia. Por favor, atienda las recomendaciones de las correspondientes hojas de seguridad.

La información contenida en este documento es el resultado de nuestras pruebas y es considerada como fiable y exacta. No aceptamos ninguna responsabilidad sobre el mal uso de estos productos y ella se limita estrictamente al valor del producto que proveemos.

RESINAS CASTRO S. L.
Pol. Ind. A Granxa, 3ª Paralela, C/ Cies 190
36400 O Porrifio - Pontevedra - España
Tlf.: 986 342 953 / Fax: 986 342 520
info@castrocomposites.com
www.castrocomposites.com



Resolcoat VLS UV

III.6 Nitrato de Zinc tetrahidratado

QUIMIPUR, S.L.U
Fecha de emisión: 26.01.2012 Revisión: 2

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

ZINC NITRATO

1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA Y DE LA SOCIEDAD:

1.1. Identificador del producto

NITRATO DE ZINC

1.2. Usos pertinentes conocidos de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Sin datos disponibles.

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

QUIMIPUR, S.L.
C/Aluminio, 1
Polígono Industrial Borondo
28510 Campo Real
MADRID
Tif. 91 875 72 34
Email: quimipur@quimipur.com

1.4. Teléfono de emergencia

Único número dentro de la UE: 112
Número de urgencias dentro de la compañía: +(34) 91 875 72 34

2. IDENTIFICACION DE PELIGROS:

2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación 67/548 CE o 1999/45 CE

No disponible

Clase y categoría de riesgo, Código de Normativa CE 1272/2008 (CLP)

• Peligros para la salud :

Toxicidad aguda, oral - Categoría 4 - Atención (CLP : Acute Tox. 4)

Irritación cutánea - Categoría 2 - Atención (CLP : Skin Corr. 2)

Irritación ocular - Categoría 2 - Atención (CLP : Eye Irrit. 2)

• Peligros físicos : Sólidos comburentes - Categoría 2 - Peligro (CLP : Ox. Sol. 2)

QUIMIPUR, S.L.U

Fecha de emisión: 26.01.2012 Revisión: 2

2.2. Elementos de la etiqueta

Normativa de Etiquetado CE 1272/2008 (CLP)



• Pictogramas de peligro :

• Pictogramas de peligro : SGH03 - SGH07

• Palabra de advertencia : Peligro

• Indicación de peligro :

H272 - Puede agravar un incendio; comburente.

H302 - Nocivo en caso de Ingestión.

H319 - Provoca irritación ocular grave.

H315 - Provoca irritación cutánea.

• Consejos de prudencia

- Prevención :

P210 - Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. — No fumar.

P280 - Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

- Respuesta :

P302+P352 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes.

P301+P312 - EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico si se encuentra mal.

P332+P313 - En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico.

P305+P351+P338 - EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

P337+P313 - Si persiste la irritación ocular : Consultar a un médico.

P370+P378 - En caso de incendio : utilizar para la extinción los medios adaptados a los productos almacenados cerca.

2.3. Otros peligros

En condiciones normales ninguno.

3 COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES:

Nombre del componente	Contenido	Nº CA 8	Nº EC N°	Indice	REACH	Clasificación
Nitrato de Zino hexahidrato	>= 98 %	10196-18-6	231-943-8	-----	-----	Ox. Sol. 2 Acute Tox. 4 (oral) Eye Irrit 2 Skin Irrit 2

4. PRIMEROS AUXILIOS:

4.1. Descripción de los primeros auxilios

- Inhalación : Asegúrese de que respira aire puro.

- Contacto con la piel : Despójese de la ropa contaminada.

Lávese con agua durante 15 minutos.

Consultar a un médico si la irritación persiste.

- Contacto con los ojos : Lavar inmediatamente y abundantemente con agua, abriendo los párpados, durante al menos 15 minutos y consultar a un especialista.

III.7 Tiosulfato de Sodio pentahidratado

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TIOSULFATO DE SODIO		ICSC: 1138
		Junio 2006
Tiosulfato de disodio Ácido tiosulfúrico, sal disódica Hiposulfito sódico		
CAS:	7772-98-7	Na ₂ O ₃ S ₂
RTECS:	XN6476000	Masa molecular: 158,1
CE / EINECS:	231-867-5	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con oxidantes.	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN	Riesgo de explosión en contacto con oxidantes.		

EXPOSICIÓN			
Inhalación		Evitar la inhalación de polvo.	Aire limpio, reposo.
Piel			Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad).
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal adicional: respirador de filtro P1 para partículas inertes. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
	Separado de oxidantes fuertes.

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2006

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TIOSULFATO DE SODIO	ICSC: 1138
DATOS IMPORTANTES	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Cristales incoloros.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos tóxicos, incluyendo óxidos de azufre. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV no establecido. MAK no establecido.</p>	<p>RIESGO DE INHALACIÓN: Puede alcanzarse rápidamente una concentración molesta de partículas suspendidas en el aire.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	
<p>Se descompone por debajo del punto de ebullición a 300 °C Punto de fusión: 48,5 °C Densidad: 1,7 g/cm³ Solubilidad en agua, g/100 ml a 20 °C: 20,9 Presión de vapor, Pa a 20 °C: despreciable</p>	<p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -4,35 (calculado)</p>
DATOS AMBIENTALES	
NOTAS	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
Nota legal	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.
© IPCS, CE 2006	

III.8 Acetato de Sodio trihidratado



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACETATO DE SODIO TRIHIDRATADO

<p>1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa</p> <p>1.1 Identificación de la sustancia o del preparado Denominación: Sodio Acetato 3-hidrato.</p> <p>1.2 Sinónimo: Acido Acético Sal Sódica</p> <p>1.3 Uso de la sustancia o preparado: Usos: para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.</p> <p>1.4 Identificación de la sociedad o empresa: CONTROL TÉCNICO Y REPRESENTACIONES, S.A. DE C.V. Av. Lincoln No. 3410 Pta. Col. Mitras Norte www.ctr.com.mx Tels. (81) 8158 0600, 8158 0628, 8158 0633 e-mail : ctrcientifico@infosel.net.mx Apdo. Postal 044-C Monterrey N.L. C.P. 64320, México</p>
<p>2. Identificación de los peligros</p> <p>Clasificación de la sustancia o de la mezcla.</p>
<p>3. Composición/Información de los componentes</p> <p>Denominación: Sodio Acetato 3-hidrato Fórmula: $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ M= 136,08</p>
<p>4. Primeros auxilios</p> <p>4.1 Indicaciones generales: En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.</p> <p>4.2 Inhalación: Ir al aire fresco.</p> <p>4.3 Contacto con la piel: Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.</p> <p>4.4 Ojos: Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.</p> <p>4.5 Ingestión: Por ingestión de grandes cantidades: En caso de malestar, pedir atención médica.</p>
<p>5. Medidas de lucha contra incendio</p> <p>5.1 Medios de extinción adecuados: Los apropiados al entorno.</p>



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACETATO DE SODIO TRIHIDRATADO

<p>5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:</p> <p>5.3 Riesgos especiales: Incombustible.</p> <p>5.4 Equipos de protección:</p>
<p>6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental</p> <p>6.1 Precauciones individuales:</p> <p>6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente:</p> <p>6.3 Métodos de recogida/limpieza: Recoger en seco y depositar en contenedores de residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Limpiar los restos con agua abundante.</p>
<p>7. Manipulación y almacenamiento</p> <p>7.1 Manipulación: Sin indicaciones particulares.</p> <p>7.2 Almacenamiento: Recipientes bien cerrados. Ambiente seco. Temperatura ambiente.</p>
<p>8. Controles de exposición/protección personal</p> <p>8.1 Medidas técnicas de protección:</p> <p>8.2 Control límite de exposición:</p> <p>8.3 Protección respiratoria: En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.</p> <p>8.4 Protección de las manos: Usar guantes apropiados</p> <p>8.5 Protección de los ojos: Usar gafas apropiadas.</p> <p>8.6 Medidas de higiene particulares: Quitarse las ropas contaminadas. Lavarse las manos antes de las pausas y</p>

III.9 Surfactante

DATOS TÉCNICOS

- Sinónimos: Dodecilsulfato, sal de sodio; SDS
- $C_{12}H_{25}NaO_4S$
- $M = 288,38 \text{ g/mol}$
- CAS [151-21-3]
- EINECS-No.: 205-788-1
- Solub. en agua: (20 °C): > 130 g/l
- Punto de fusión: 205 °C
- Punto de ebullición: 216 °C
- Punto de inflamación: 170 - 180 °C
- Temperatura de ignición: 310,5 °C
- Presión de vapor: 0,18 Pa (20 °C)
- LD 50 (oral, rat): 1288 mg/kg
- ADR: 4.1 F1 III UN 1325
- IMDG: 4.1 III UN 1325
- IATA/ICAO: 4.1 III UN 1325
- Palabra de advertencia-GHS: Peligro
- Frases H-GHS : H311 - H318 - H228 - H302 - H332 - H315 - H335 - H412
- Frases P-GHS: P210 - P241 - P305+P351+P338 - P361 - P405 - P501a
- Partida arancelaria: 2920 90 10 90
- Aspecto: Blanco

ESPECIFICACIONES

- CLORUROS (CL): 0,1 - 1 %
- SULFATOS (SO₄): 0,1 - 3 %
- METALES PESADOS (COMO Pb) : MAX. 0,001 %
- PÉRDIDA POR SECADO (110 °C): MAX. 2 %

Fairy ultra lavavajillas a mano

Fichas de datos de seguridad

conforme al reglamento (CE) N° 453/2010

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1. Sustancia

No aplicable

3.2. Mezcla

Nombre	Identificador del producto	%	Clasificación según la directiva 67/548/CEE	Clasificación según reglamento (UE) No. 1272/2008 [CLP]
Sodium C12-14 Alkyl Sulfate	(N° CAS) 85588-07-8 (N° CE) 287-809-4 (RECH-no) 01-2119489483-28	5 - 10	Xn; R22 Xi; R41 Xi; R35	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Chronic 3, H412
Laurethyl Sulfate	(N° CAS) 308082-25-4 (N° CE) 931-292-8 (RECH-no) 01-2119490081-47	5 - 10	Xn; R22 Xi; R41 Xi; R35 N; R50	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Acute 1, H400 Aquatic Chronic 3, H411
Sodium Laureth Sulfate	(N° CAS) 181074-79-9 (N° CE) 500-813-4 (RECH-no) 01-2119513389-37	5 - 10	Xi; R41 Xi; R35	Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Chronic 3, H412
Sodium Lauryl Sulfate	(N° CAS) 1331880-35-5 (RECH-no) 01-2119582870-31	5 - 10	Xn; R22 Xi; R41 Xi; R35	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Chronic 3, H412
Sodium C12-14 Parah-2 Sulfate	(N° CAS) 68891-38-3 (N° CE) Polymer	1 - 5	Xi; R41 Xi; R35	Skin Irrit. 2, H315 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Chronic 3, H412

Texto completo de las frases R y H : ver sección 16

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

La información de la composición actualizada del producto ha sido remitida al Servicio de Información Toxicológica (Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses).

En caso de intoxicación llamar al Servicio de Información Toxicológica: Tfno (24 horas) 91 562 04 20

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Medidas de primeros auxilios en caso de inhalación	: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Llamar a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico en caso de malestar.
Medidas de primeros auxilios en caso de contacto con la piel	: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes. Quitarse las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas. En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico. Dejar de usar el producto.
Medidas de primeros auxilios en caso de contacto con los ojos	: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.
Medidas de primeros auxilios en caso de ingestión	: EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito. Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Síntomas y lesiones posibles en caso de inhalación	: Tos. Estornudos.
Síntomas y lesiones posibles en caso de contacto con la piel	: Enrojecimiento. Hinchazón. sequedad. Picazón.
Síntomas y lesiones posibles en caso de contacto con los ojos	: Dolor intenso. Enrojecimiento. Hinchazón. Vista borrosa.
Síntomas y lesiones posibles en caso de ingestión	: Irritación de la mucosa oral o gastrointestinal. Náuseas. Vómito. secreción excesiva. Diarrea.

4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Véase el apartado 4.1.

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados	: polvo químico seco, espuma resistente a los alcoholes, dióxido de carbono.
--------------------------------	--

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Peligro de incendio	: Ningún riesgo de incendio. No combustible.
Peligro de explosión	: El producto no es explosivo.
Reactividad	: No se conocen reacciones peligrosas.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Instrucciones para extinción de incendio	: No se requiere ninguna instrucción de lucha particular.
--	---

III.11 Parafina



Industrias Químicas *Cloramon*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARAFINA 58° - 60°

1.- Propiedades

Sólido ceroso, blanco, inodoro, insoluble en agua.

2.- Usos principales

Velas, ceras para pisos, pastas para calzado , ceresinados de papeles y cartones, cosméticos, Industria de tableros de madera (aglomerados, MDF, etc.), emulsiones parafínicas , fabricación de fósforos etc.

3.- Presentacion

Caja de cartón de 25 Kg netos (5 Palmetas de 5 kgs c/u)

4.-Especificaciones

Ensayos	Método	Resultado
Punto fusión °C	D 87	58° - 60° C
Contenido de aceite %	D 721	0.34
Color Saybolt	D 156	30
Penetración 1/10 mm 25°C	D 1321	15

III.12 Estearina

ESTEARINA DE PALMA

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Noviembre 2016
VERSIÓN: 01

SECCIÓN 9 – PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico:	Sólido.
Color:	Bianco a amarillento
Olor:	Graso
Umbral olfativo:	No disponible
pH:	No disponible
Punto de solidificación:	58-62°C
Punto / intervalo de ebullición:	200-225°C
Tasa de evaporación:	No disponible
Inflamabilidad:	No disponible
Punto de inflamación:	>180°C DIN ISO 2592 (Cleveland)
Límites de inflamabilidad:	No disponible
Presión de vapor (20°C):	No disponible
Densidad de vapor (aire=1):	No disponible
Densidad (20°C):	0,88 g / cm ³
Solubilidad (20°C):	Insoluble en agua
Coef. de reparto (logK _{ow}):	No disponible
Temperatura de autoignición:	No disponible
Temperatura de descomposición:	No disponible
Viscosidad cinemática (20°C):	No disponible
Constante de Henry (20°C):	No disponible
Log Koc:	No disponible
Propiedades explosivas:	No disponible
Propiedades comburentes:	No disponible
Humedad y compuestos volátiles:	Menos de 0.1% a 100°C

9.2 Información adicional

Otras propiedades: No disponible

SECCIÓN 10 – ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad

Producto no peligroso

10.2 Estabilidad química

Producto no peligroso

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Producto no peligroso

PEL: Límite de Exposición Permitido.
 INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
 ETA: estimación de la toxicidad aguda.
 DL₅₀: Dosis Letal Media.

CL₅₀: Concentración Letal Media.
 CE₅₀: Concentración Efectiva Media.
 CI₅₀: Concentración Inhibitoria Media.
]: Cambios respecto a la revisión anterior.

16.2 Principales referencias bibliográficas y fuentes de datos

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa nacional expresada:
 México: NOM-018-STO-2000, NMX-R-019-SCFI-2011 y ACUERDO-NOM-018-DOF-060913.
 Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441
 Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04
 Costa Rica: Decreto Nº 28113-S
 Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001
 Colombia: NTC 445, 22 de Julio de 1998
 Ecuador: NTE INEN 2 266:200
 Reglamento (CE) 1272/2008 sobre Clasificación, etiquetado y envasado de las sustancias químicas y sus mezclas, y sus modificatorias.
 Reglamento (CE) 1907/2006 relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), y sus modificatorias.
 Dir. 91/689/CEE de residuos peligrosos y Dir. 91/156/CEE de gestión de residuos.
 Acuerdo europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR 2015).
 Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID 2015).
 Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG 34 ed.), IMO, Resolución MSC 90/28/Add.2.
 Código IBC/MARPOL, IMO, Resolución MEPC 64/23/Add.1.
 Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA 58 ed., 2015) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.
 Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, quinta edición revisada, 2015 (SGA 2015).
 International Agency for Research on Cancer (IARC), clasificación de carcinógenos. Revisión: 23/03/2015.

16.3 Clasificación y procedimiento utilizado para determinar la clasificación de la mezcla

Procedimientos de acuerdo al SGA/GHS
 La clasificación se ha efectuado en base a análogos químicos y a información del producto.

Clasificación NFPA 704 Clasificación HMIS®



SALUD	0
INFLAMABILIDAD	0
PELIGROS FÍSICOS	0
PROTECCIÓN PERSONAL	



16.4 Exención de responsabilidad

La información indicada en esta Hoja de Seguridad fue recopilada e integrada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores de materia prima. La información relacionada con este producto puede variar, si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular en procesos específicos. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este producto específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico capacitado. Esta hoja de seguridad no pretende ser completa o exhaustiva, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales no contempladas en este documento.

16.5 Control de cambios

Noviembre 2016. Se crea la FDS según el Sistema Globalmente Armonizado.

III.13 Equipo de ultrasonidos



Perfil del Producto

Elmasonic S 300 H Aparato de limpieza por ultrasonidos

Números de pedido Elma

Elmasonic S 300 (220-240 V)	107 1163
Elmasonic S 300 (115-120 V)	107 1164
Elmasonic S 300 H (220-240 V)	107 1162
Elmasonic S 300 H (115-120 V)	107 1165
Cesta de acero inoxidable	100 4271
Tapa del aparato de plástico	100 3287
Consultar para otros accesorios	



Fig. Elmasonic S 300 H

La línea de aparatos Elmasonic S incluye una gama de 16 tamaños de aparatos con un volumen de la cuba de 0,5 hasta 90 litros. La limpieza por ultrasonidos controlada por microprocesador y la tecnología „Sweep“ representan el nivel más avanzado de la técnica.

Características del producto:

- Osciladores de potencia de ultrasonidos eficaces de 37 kHz.
- Cuba de limpieza de acero inoxidable resistente a la erosión por cavitación.
- Unidad de mando de manejo cómodo y claramente estructurada, sellada para evitar la penetración de líquidos en la electrónica.
- Indicador LED para la función de ultrasonidos.
- Selector giratorio para la preselección cómoda del tiempo de limpieza.
- Funcionamiento continuo o régimen de tiempo corto ajustable entre 1 y 30 minutos.
- La limpieza se puede iniciar de inmediato o controlada por temperatura.
- Función „Sweep“ conectable para una distribución optimizada del campo sonoro por modulación de las frecuencias.
- Función Degas para una desgasificación más rápida del líquido de limpieza y para aplicaciones de laboratorio específicas.
- Posibilidad de seleccionar una función „Autodegas“ controlada por tiempo.
- Calefacción protegida contra el funcionamiento en seco.
- Ajuste de la temperatura seleccionable con selector giratorio de 30° hasta 80°C en pasos de 5°(en los aparatos H).
- Indicador LED para la función de calefacción (en los aparatos H).
- Cable de red extraíble con conector IEC (S 10 - S 300H).

Datos técnicos

Tensión de red (Vac)	115-120 V/220-240 V	Peso (kg)	11,0
Frecuencia de ultrasonidos (kHz)	37	Material de la cuba	Acero inoxidable
Potencia nominal total S 300 (W)	300	Material de la carcasa	Acero inoxidable
Potencia nominal total S 300 H (W)	1500	Desagüe	3/8"
Potencia de ultrasonidos eficaz (W)	300	Asas de transporte	√
Potencia máx. de ultrasonidos* (W)	1200	Conformidad CE	√
Potencia de calentamiento (en aparatos H) (W)	1200	Clase de protección	IP 20
Dim. exteriores del aparato An/P/AI (mm)	568/ 340/ 321	* S 10 – S 15 H: Sonido por pulsos; S 30 - S 900:H: Sonido de semi-onda doble. La selección de la forma de onda se ha adaptado a la geometría de la cuba. Debido a la forma de onda se obtiene un valor 4 u 8 veces mayor para el valor máximo de la potencia ultrasónica	
Dim. interiores de la cuba An/P/AI (mm)	505/300/ 200		
Dim. interiores de la cesta An/P/AI (mm)	455/ 250/115		
Volumen de llenado máx. (litros)	28,0		

Reservado el derecho de modificaciones técnicas y ópticas Elma_ch_01/07

III.14 Durómetro PCE-DX-AS

- con aguja de arrastre
- lectura de las diferentes unidades de dureza
- reloj de 360 °
- alta precisión
- cumple todas las normativas
- se incluye un pequeño maletín



Especificaciones técnicas

Fuerza de presión	0 ... 12,5 N
Cuerpo de penetración	35 ° (según Shore A)
Diámetro del reloj	57 mm
Longitud total	110 mm
Rango de indicación	0 ... 100
Rango de medición	10 ... 90 (por debajo de 10 y por encima de 90 disminuye la precisión)
Límite de error	±1
División de la escala	1
Aguja de arrastre	sí
Peso	160 g

III.15 Durómetro PCE-DX-DS



Durómetro PCE-DX-DS Shore D

Durómetro mecánico para la medición de la dureza de elastómeros duros / con aguja de arrastre para una mejor lectura del valor pico

El durómetro sirve para la medición de la dureza de la superficie (Shore D) de goma dura y plásticos térmicos blandos. El durómetro está compuesto de una sola pieza con un cabezal de medición y un reloj antideslumbrante de 360 °. El aparato puede ser calibrado en cualquier momento, y se le adjunta un certificado ISO (coste adicional). Para una mejor capacidad de lectura del valor de pico (Peak), el medidor dispone adicionalmente de una aguja de arrastre, que permanece inmóvil en el punto de medición máximo. Después de su lectura se puede poner a cero. Con el modelo PCE-DX-DS (D) obtendrá siempre unos valores de medición de dureza de máxima precisión y reproducibilidad. En el enlace siguiente encontrará una [explicación del proceso de medición de dureza](#). También podrá ver la clasificación de los diferentes grados de dureza haciendo clic [aquí](#). Hay otro equipo para comprobar la dureza de elastómeros (Shore A) en forma digital de fácil manejo y de gran precisión, puede encontrarlo en este [enlace](#). Este durómetro digital va calibrado de fábrica e incluye certificado de calibración ISO. Si tiene alguna pregunta sobre el durómetro, consulte la siguiente ficha técnica o póngase en contacto con nosotros en el número de teléfono 902 044 604 para España, para Latinoamérica e internacional +34 987 513 695 o en el número +56 2 562 0400 para Chile. Nuestros técnicos e ingenieros le asesorarán con mucho gusto sobre este durómetro y sobre cualquier producto de nuestros [sistemas de regulación y control, medidores o balanzas](#).

- con aguja de arrastre
- lectura de las diferentes unidades de dureza
- reloj de 360 °
- alta precisión
- cumple todas las normativas
- se incluye un pequeño maletín
- adicionalmente se puede emitir el certificado de calibración ISO



Especificaciones técnicas

Fuerza de presión	0 ... 44,5 N
Cuerpo de penetración	30 ° (según Shore D)
Diámetro del reloj	57 mm
Longitud total	110 mm
Rango de indicación	0 ... 100
Rango de medición	10 ... 90 (por debajo de 10 y por encima de 90 disminuye la precisión)
Límite de error	±2
División de la escala	1
Aguja de arrastre	sí
Peso	160 g

PCE Ibérica S.L. | Mayor 53 – Bajo | 02500 Tobarra (Albacete)
 Tel: +34 987 543 548 | Fax: +34 987 543 542 | Email: info@pce-iberica.es
<http://www.pce-iberica.es/>